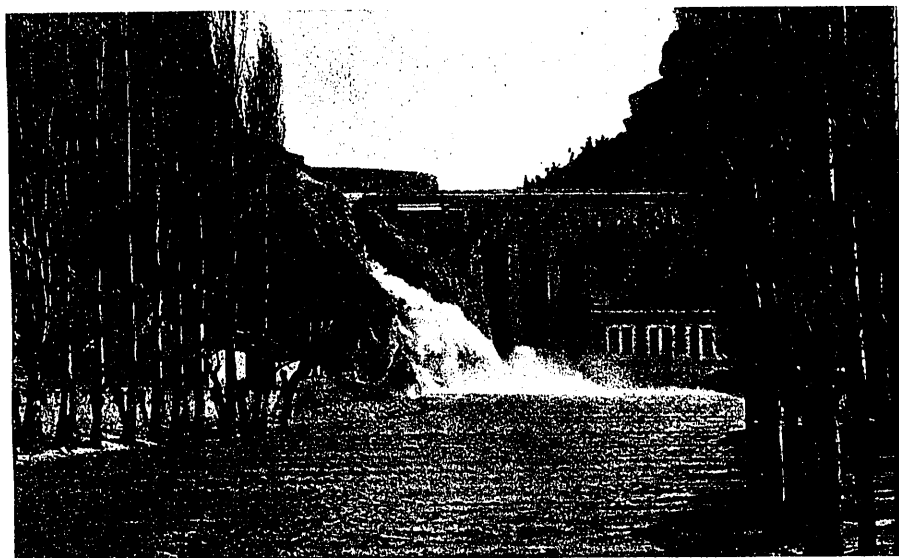


Presas de contrafuertes en Burgomillodo

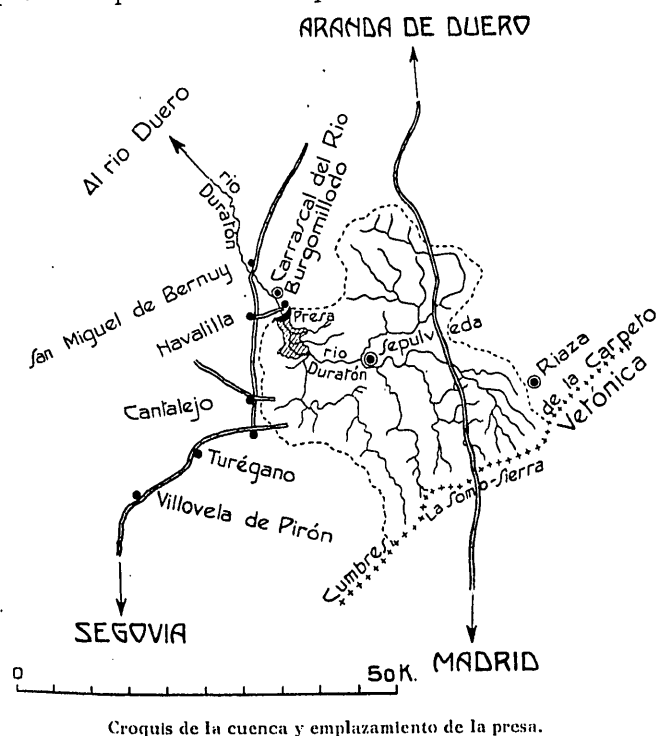
I

En la provincia de Segovia, sobre el cauce del río Duratón, veintisiete kilómetros aguas abajo de Se-



Fot. 1.ª Vista general desde aguas abajo.

púlveda, junto al pequeño poblado de Burgomillodo (o El Burguillo), se ha construido recientemente la presa de que vamos a ocuparnos.



Su objeto ha sido: lograr primeramente un aprovechamiento hidroeléctrico, y como consecuencia del embalse, también un aumento de caudal en los estiajes, utilizable para el regadío de las vegas inferiores.

La capacidad útil del embalse es de unos 8 millones de metros cúbicos, con una superficie de cuenca alimentadora de 800 km², aproximadamente, que según los aforos conocidos proporcionan una aportación media anual de 145 millones de metros cúbicos.

Puede llegarse hasta el pie de la presa por carretera, siguiendo la ruta Segovia-Turégano-Cantalejo-Navalilla-Burgomillodo, con recorrido total de 63 km.

II

Las obras hidráulicas de Burgomillodo reúnen dos novedades, si así puede decirse, pues está constituido el dique por una serie de contrafuertes yuxtapuestos y el aliviadero está formado por una batería de sifones.

La razón de estos dos tipos de obras fué, sencillamente, un deseo de obtener la máxima economía posible en el coste del aprovechamiento hidroeléctrico, como parece se ha logrado. El macizo total del dique, con sus encofrados, costó poco más de 900 000 pesetas, y el importe de la batería de nueve sifones para 250 m³ por segundo fué de 90 000 pesetas, completado con las excavaciones en roca para su emplazamiento y canal de evacuación hasta el río, que añadieron 60 000 pesetas.

La idea de esta presa de contrafuertes, presidida

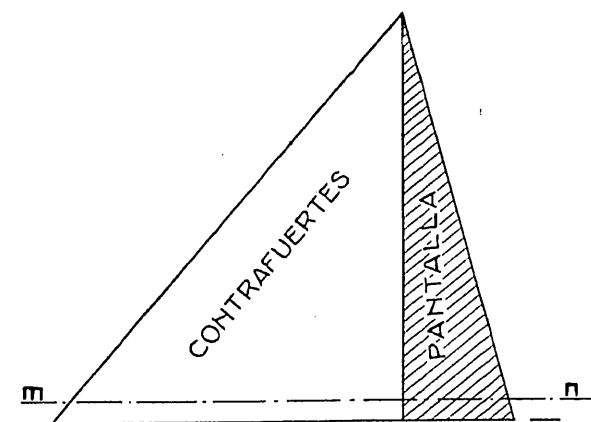
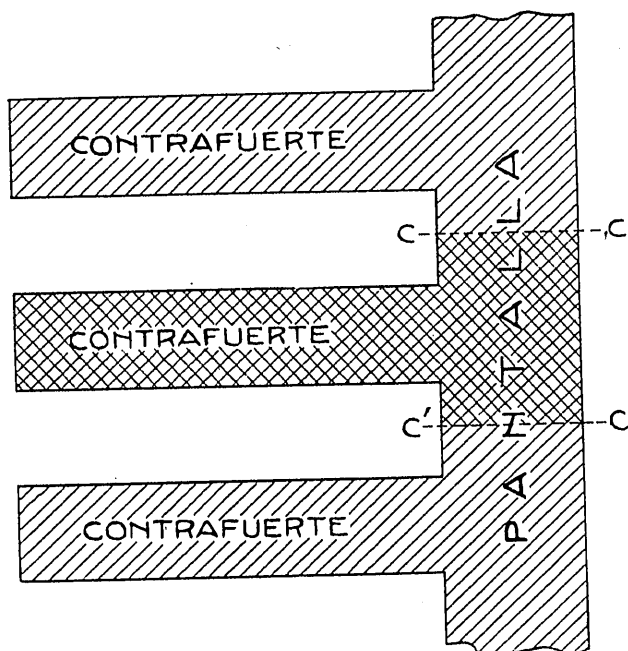


Fig. 1.ª Corte-alzado por cc de la figura 2.ª

por la preocupación de un menor coste, como antes se dice, corresponde a la separación material de las dos condiciones principales que un dique ha de cumplir: estabilidad e impermeabilidad. La primera condición se encomienda a los contrafuertes, y la segunda a una pantalla que se apoya en ellos (fig. 1.ª).

Si el espacio entre contrafuertes es semejante en

magnitud al espesor de ellos, un corte por *mn* se presentará como en la figura 2.^a; y si después imaginamos las líneas de separación *cc*, *c'c'* entre contrafuertes, podremos suponer que la presa se compone de

Fig. 2.^a Corte-planta por

una serie de elementos yuxtapuestos, como el de la figura 3.^a, que retocados un poco para la construcción, según los casos, nos dará, por ejemplo, el definitivo de la figura 4.^a

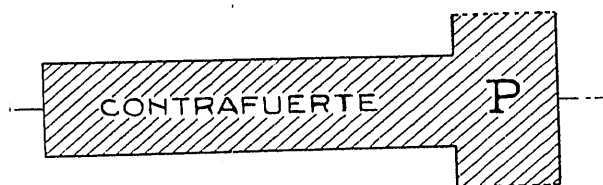
III

En la presa de Burgomillodo, la dosificación del hormigón en la pantalla *P* fué la necesaria para conseguir la impermeabilidad, y se redujo la cuantía de cemento para los contrafuertes en relación con las cargas de trabajo elástico calculadas; sin embargo, la dosificación mínima en los contrafuertes no bajó de 180 kg de cemento Olazagutia o Valderrivas por metro cúbico de hormigón; y en lo que llamamos pantalla, la dosificación fué de 220 kg de cemento Olazagutia por metro cúbico de hormigón apisonado.

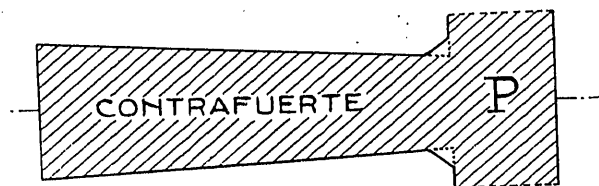
Con este tipo de presa parece no son de temer las subpresiones, ni tampoco la iniciación del vuelco, como se comprueba en los cálculos que en un segundo artículo se detallarán.

La porción de superficie más delicada de la excavación y la de su unión impermeable con el macizo de la pantalla se reduce también considerablemente. En cambio, había que contar, entre otros, con dos inconvenientes sospechados: uno, el de la retracción que

probablemente se acusaría en todos los espacios entre contrafuertes, y el otro, la mayor dificultad de lograr la impermeabilidad general requerida. Esta impermeabilidad se ha conseguido plenamente con

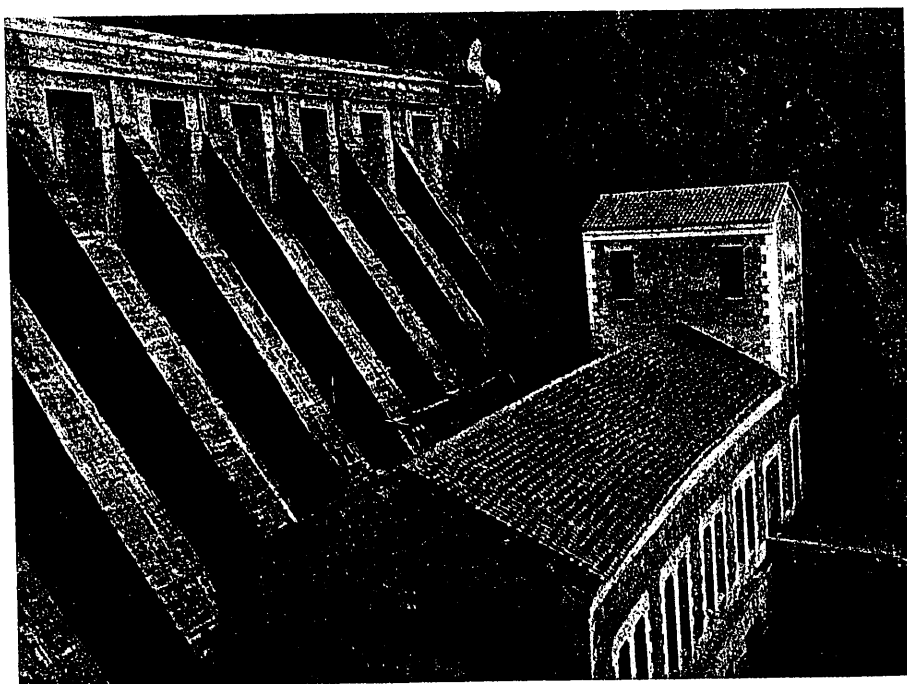
Fig. 3.^a

el hormigón de 220 kg, cuidando de que fuese homogéneo y bastante fluido, para permitir un apisonado más completo y menos trabajoso. Las grietas o fisuras de retracción se presentaron, efectivamente, en la parte superior de casi todos los espacios dichos; pero repartido así el efecto, resultó pequeño cada uno, habiéndose colmatado ya algunas de dichas grietas, esperando sucederá lo mismo con

Fig. 4.^a

el resto, ahorrándose, por tanto, las disposiciones y remedios correspondientes, que en previsión se habían estudiado y preparado.

La economía que puede alcanzarse con este tipo

Fot. 2.^a Vista parcial de la presa y Casa de máquinas

de presa es importante: un dique de perfil Lévy, con la condición de talud dado por la fórmula:

$$\text{tag } \varphi = 1 : \sqrt{K - 1}$$

da para la base correspondiente de una presa de hormigón alrededor del 85 por 100 de la altura; y así el volumen por metro lineal de una presa clásica de 40 m de altura, por ejemplo (prescindiendo de la coronación para las comparaciones), sería:

$$\frac{1}{2} \times 40 \times (40 \times 0,85) = 40 \times 40 \times 0,425$$

El volumen de una presa equivalente, pero del tipo de la construída en Burgomillodo, sería (también calculada para el metro lineal):

$$\left(\frac{1}{2} \times 40 \times (40' \times 0,21) + \frac{1}{2} 40 \times 0,69 \right) = 40 \times 40 \times 0,2775$$

de modo que la economía de volumen resultaría ser:

$$(0,4250 - 0,2775) : 0,425 = 0,1475 : 0,425 = 34,7 \%$$

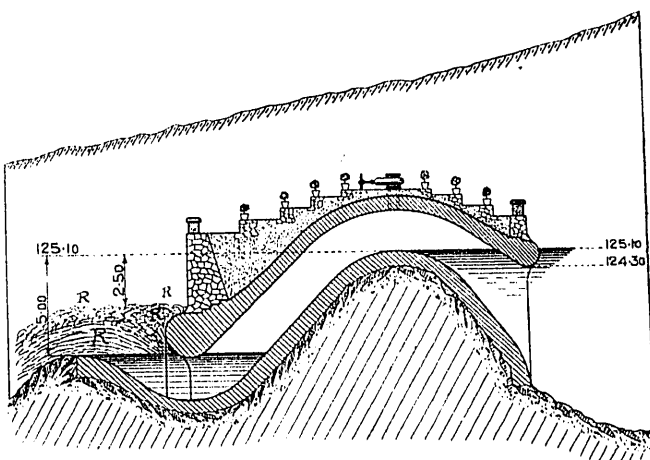
es decir, más de un tercio.

Podría pensarse que la mayor superficie de paramentos encareciese notablemente la obra por la dificultad y aumento de moldes; pero la práctica, en Burgomillodo, demostró era infundada esa sospecha, pues la forma misma de los espacios entre contrafuertes permitió el empleo de unos moldes volantes muy sencillos, como se ve en la fotografía 3.ª, y el hecho fué que por ese exceso de moldes, sobre los de una presa clásica corriente, se contó y pagó en el caso que nos ocupa 10 000 pesetas—para un volumen de 20 000 m³ de hormigón en el dique; es decir, que puede contarse con un suplemento para moldes del orden de 0,50 pesetas por metro cúbico—.

IV

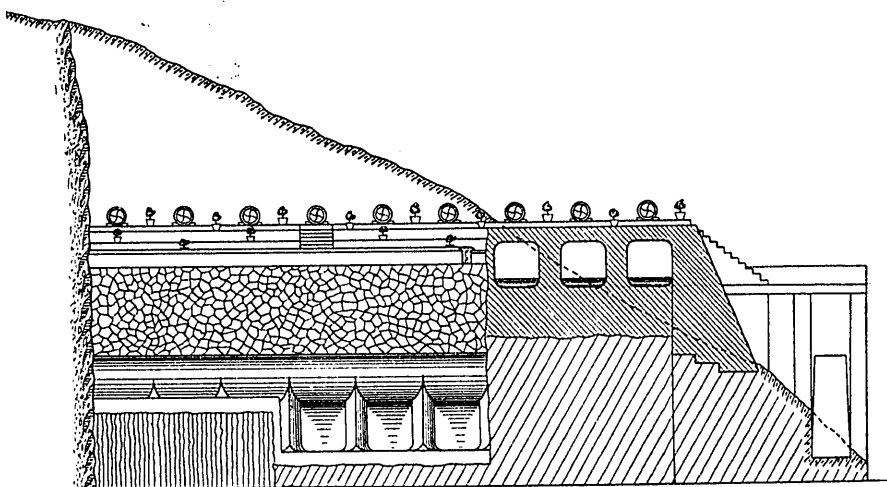
ALIVIADERO EN SIFÓN

Nada de particular tiene esta obra, que se comprende en seguida por la simple inspección de los adjuntos cortes longitudinal y transversal:



Aliviadero en sifón. Corte longitudinal

Su forma, como en el corte longitudinal se aprecia, se adoptó bastante amplia, por la preocupación de conseguir una salida inferior sin codo pronunciado



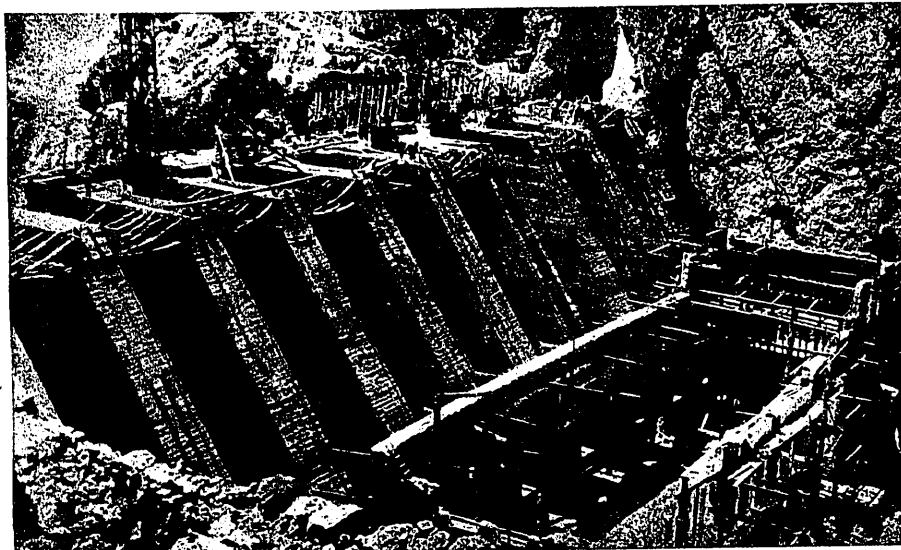
Aliviadero en sifón. Corte transversal

ni brusco cambio, que provocaría una fuerte pérdida de carga. El ingreso se trazó también lo más ensanchado y abocinado posible, para que la velocidad en la sección bajo el labio superior de la entrada no obligase a reducir demasiado la cota de éste, evitándose así el retardo en la descarga automática del sifón, sobre todo cuando sólo trabaja una mínima parte de los de la batería. Los 80 cm establecidos bajo la cota del nivel máximo del embalse permiten un aumento de velocidad en el ingreso hasta

$$v = \sqrt{2 \times g \times 0,80} = 3,961$$

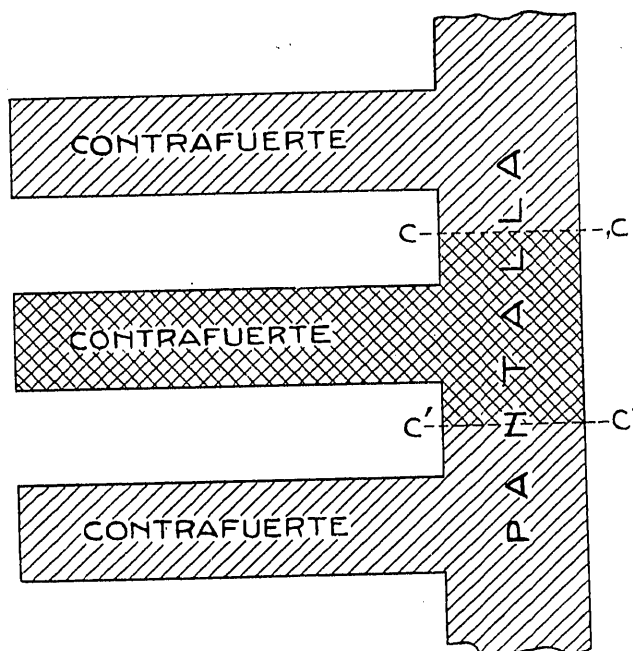
El cálculo hidráulico de cada sifón (los nueve de la batería son idénticos entre sí) se ha hecho utilizando la sencilla fórmula conocida:

$$U = C \times \sqrt{R \times I};$$



Fot. 3.ª Moldes volantes empleados para la construcción de la presa.

magnitud al espesor de ellos, un corte por *mn* se presentará como en la figura 2.^a; y si después imaginamos las líneas de separación *cc*, *c'c'* entre contrafuertes, podremos suponer que la presa se compone de

Fig. 2.^a Corte-planta por

una serie de elementos yuxtapuestos, como el de la figura 3.^a, que retocados un poco para la construcción, según los casos, nos dará, por ejemplo, el definitivo de la figura 4.^a

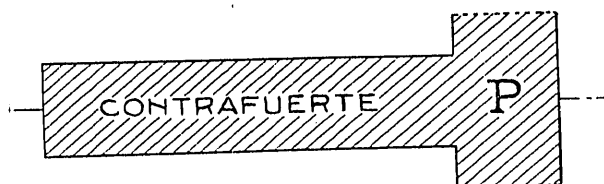
III

En la presa de Burgomillodo, la dosificación del hormigón en la pantalla *P* fué la necesaria para conseguir la impermeabilidad, y se redujo la cuantía de cemento para los contrafuertes en relación con las cargas de trabajo elásticas calculadas; sin embargo, la dosificación mínima en los contrafuertes no bajó de 180 kg de cemento Olazagutia o Valderriyas por metro cúbico de hormigón; y en lo que llamamos pantalla, la dosificación fué de 220 kg de cemento Olazagutia por metro cúbico de hormigón apisonado.

Con este tipo de presa parece no son de temer las subpresiones, ni tampoco la iniciación del vuelco, como se comprueba en los cálculos que en un segundo artículo se detallarán.

La porción de superficie más delicada de la excavación y la de su unión impermeable con el macizo de la pantalla se reduce también considerablemente. En cambio, había que contar, entre otros, con dos inconvenientes sospechados: uno, el de la retracción que

probablemente se acusaría en todos los espacios entre contrafuertes, y el otro, la mayor dificultad de lograr la impermeabilidad general requerida. Esta impermeabilidad se ha conseguido plenamente con

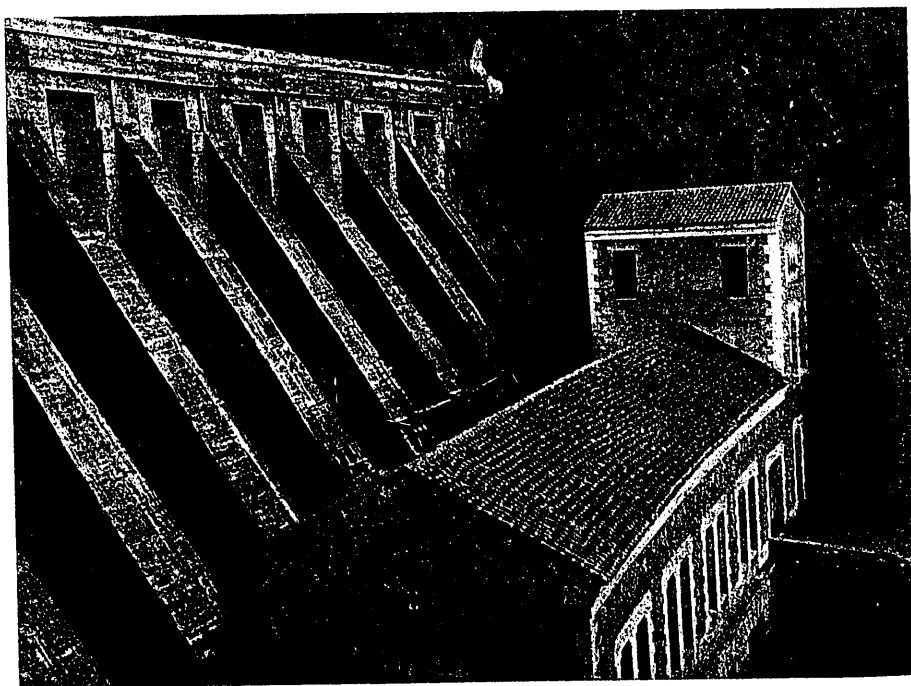
Fig. 3.^a

el hormigón de 220 kg, cuidando de que fuese homogéneo y bastante fluido, para permitir un apisonado más completo y menos trabajoso. Las grietas o fisuras de retracción se presentaron, efectivamente, en la parte superior de casi todos los espacios dichos; pero repartido así el efecto, resultó pequeño cada uno, habiéndose colmatado ya algunas de dichas grietas, esperando sucederá lo mismo con

Fig. 4.^a

el resto, ahorrándose, por tanto, las disposiciones y remedios correspondientes, que en previsión se habían estudiado y preparado.

La economía que puede alcanzarse con este tipo

Fot. 2.^a Vista parcial de la presa y Casa de máquinas

de presa es importante: un dique de perfil Lévy, con la condición de talud dado por la fórmula:

$$\text{tag } \varphi = 1 : \sqrt{K - 1}$$

da para la base correspondiente de una presa de hormigón alrededor del 85 por 100 de la altura; y así el volumen por metro lineal de una presa clásica de 40 m de altura, por ejemplo (prescindiendo de la coronación para las comparaciones), sería:

$$\frac{1}{2} \times 40 \times (40 \times 0,85) = 40 \times 40 \times 0,425$$

El volumen de una presa equivalente, pero del tipo de la construída en Burgomillodo, sería (también calculada para el metro lineal):

$$\left(\frac{1}{2} \times 40 \times \left(40 \times 0,21 + \frac{1}{2} 40 \times 0,69 \right) \right) = 40 \times 40 \times 0,2775$$

de modo que la economía de volumen resultaría ser:

$$(0,4250 - 0,2775) : 0,425 = 0,1475 : 0,425 = 34,7 \%$$

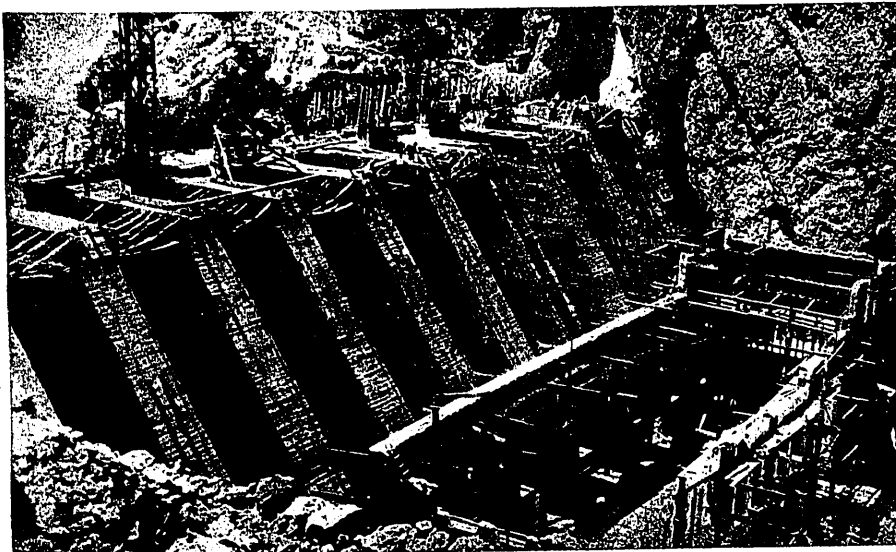
es decir, más de un tercio.

Podría pensarse que la mayor superficie de paramentos encareciese notablemente la obra por la dificultad y aumento de moldes; pero la práctica, en Burgomillodo, demostró era infundada esa sospecha, pues la forma misma de los espacios entre contrafuertes permitió el empleo de unos moldes volantes muy sencillos, como se ve en la fotografía 3.ª, y el hecho fué que por ese exceso de moldes, sobre los de una presa clásica corriente, se contó y pagó en el caso que nos ocupa 10 000 pesetas—para un volumen de 20 000 m³ de hormigón en el dique; es decir, que puede contarse con un suplemento para moldes del orden de 0,50 pesetas por metro cúbico—.

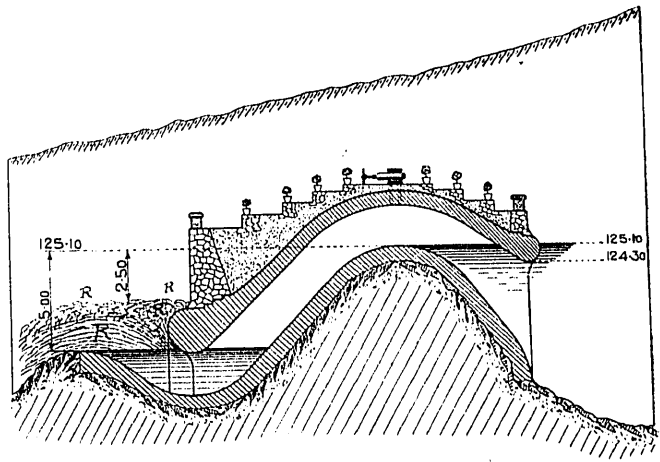
IV

ALIVIADERO EN SIFÓN

Nada de particular tiene esta obra, que se comprende en seguida por la simple inspección de los adjuntos cortes longitudinal y transversal:

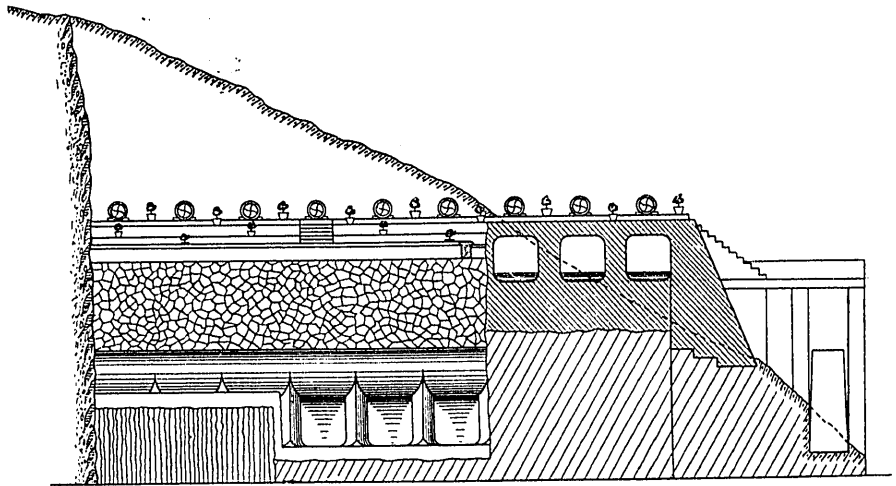


Fot. 3.ª Moldes volantes empleados para la construcción de la presa.



Aliviadero en sifón. Corte longitudinal

Su forma, como en el corte longitudinal se aprecia, se adoptó bastante amplia, por la preocupación de conseguir una salida inferior sin codo pronunciado



Aliviadero en sifón. Corte transversal

ni brusco cambio, que provocaría una fuerte pérdida de carga. El ingreso se trazó también lo más ensanchado y abocinado posible, para que la velocidad en la sección bajo el labio superior de la entrada no obligase a reducir demasiado la cota de éste, evitándose así el retardo en la descarga automática del sifón, sobre todo cuando sólo trabaja una mínima parte de los de la batería. Los 80 cm establecidos bajo la cota del nivel máximo del embalse permiten un aumento de velocidad en el ingreso hasta

$$v = \sqrt{2 \times g \times 0,80} = 3,961$$

El cálculo hidráulico de cada sifón (los nueve de la batería son idénticos entre sí) se ha hecho utilizando la sencilla fórmula conocida:

$$U = C \times \sqrt{R \times I};$$

de donde

$$I = U^2 : (C^2 \times R)$$

en la cual, a pesar de tratarse de paredes lisas de hormigón compacto y enlucido, se ha supuesto para el coeficiente C solamente el valor 40; lo que en la sec-

está terminada y prestando servicio desde hace casi dos años.

En cuanto a dimensiones de detalle, espesores de los hormigones, etc., no diremos nada que no se deduzca de los dibujos; pero sí recordamos que al proyectar el sifón de referencia, construido de hormigón en masa, nos preocuparon las vibraciones que en pleno funcionamiento pudieran producirse, y de ahí que pensásemos complementarlo con unos muretes de mampostería en seco (o con morteros áridos) para sostener encima de la obra una sobrecarga de arena y tierras, cuya superficie, como en el dibujo se indica, podría aprovecharse para un jardinillo.

CEBAMIENTO DEL SIFÓN.--Queriendo prever en todas las ocasiones el menor retraso en el cebamiento de los sifones, se proyectó y construyó, a tales efectos, una casa o dependencia auxiliar del sifón, inmediata a él, donde habían de instalarse todos los elementos necesarios que con ese destino se adquirieran: aspiradores hidráulicos, mecánicos y eléctricos, para montarlos y enlazarlos por medio de las tuberías adecuadas con las bases-soportes de las llaves de admisión de aire colocadas en los vértices de cada tubo-sifón.

Las varias combinaciones previstas, con todos esos elementos, aseguraban un cebamiento automático (y descebamiento también), rápido y seguro, de los nueve tubos del sifón, conjuntamente o separados, o agrupados como se quisiera, y ello para ligeros aumentos escalonados del nivel del embalse (escalones de nivel de cuatro o cinco centímetros nada más).

ción cuadrada libre de 2×2 da una pérdida de carga unitaria de 0,06; de modo que resulta poco más de un metro para el total recorrido interior del sifón.

El canal de evacuación tiene 26 m de anchura, en la sección correspondiente a la cresta de su vertedero, por donde libremente ya se vuelca el caudal.

Suponiendo que por remolinos y expansiones la velocidad del agua, que dentro de los tubos cuadrados del sifón se ha calculado en 7 m por segundo, quede reducida a poco más de seis, el nivel en el triángulo de agua tumultuosa RR alcanzaría la cota 121,60.

Sumando la contrapresión correspondiente con la pérdida de carga consumida dentro de los tubos-sifones, llegamos a un desnivel neto teórico de unos 2,50 m, que como fuerza hidráulico-motriz daría lugar a una velocidad:

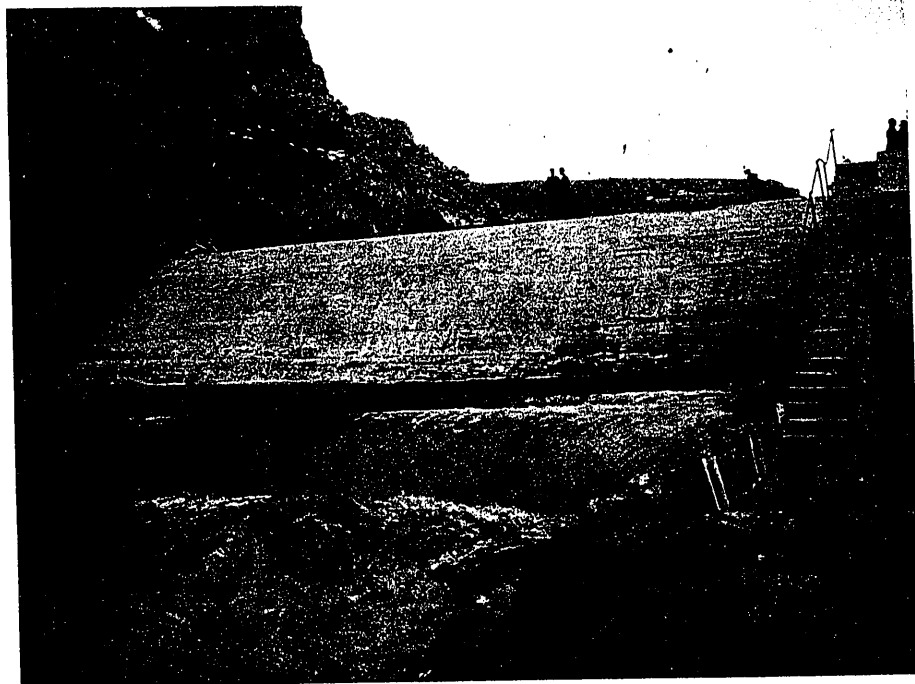
$$V = \sqrt{2 \times g \times 2,50} = 7 \text{ metros por segundo.}$$

Cada sifón de la batería, con sus cuatro metros cuadrados libres, evacuaría $4 \times 7 = 28 \text{ m}^3$, y los nueve sifones

$$28 \times 9 = 252 \text{ metros cúbicos}$$

Claro es que cuando trabajan solamente uno, dos o tres sifones, la contrapresión en la salida resulta menor y el caudal evacuado por cada uno aumenta, en consecuencia.

Todo lo anterior ha sido comprobado muy satisfactoriamente por la experiencia, ya que la obra



Fot. 4.ª Vertedero de evacuación de los sifones.

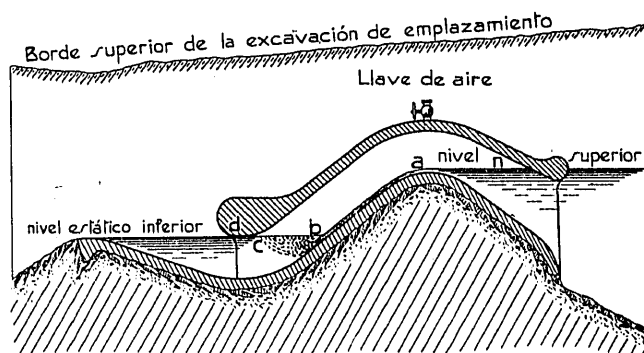


Figura auxiliar. Sección longitudinal del sifón

Motivos que no son del caso dejaron sin realización todas estas previsiones, cuando los diversos elementos estaban adquiridos, reunidos y preparados para su montaje; pero la razón principal fué que al llenarse el embalse por primera vez se aprendió en seguida que los sifones se cebaban espontáneamente, en poco más de dos minutos, en cuanto el nivel del embalse crecía unos ocho centímetros nada más (es-

tando cerrada del todo, como es consiguiente, la llave-compuerta de admisión de aire del vértice superior de cada sifón).

Y se aprendió más, pues una vez cebado cada elemento del sifón, se podía disminuir y hasta graduar con régimen permanente el caudal evacuado por cada uno, abriendo más o menos la compuerta de admisión de aire correspondiente.

Ante tales hechos, la instalación especial de cebamiento automático y de precisión de la batería de sifones quedaba relegada a la categoría de estación de estudios y ensayos, lo cual se salía del cuadro de preocupaciones de una empresa industrial.

Analizando *a posteriori* la razón de ese fácil cebamiento de los sifones, se observó bien que la inclinación relativamente tendida de la rama inferior del sifón daba lugar a que la lámina de agua vertiente de los ocho centímetros de espesor en su origen, al descender de *a* a *b* (figura auxiliar), llegase muy emulsionada con el aire al punto *b*, y además, por la dicha inclinación y la velocidad de caída en el agua, las burbujas de aire inyectadas en la cubeta inferior, en vez de extinguirse en el punto *c*, por ejemplo, empezaban a rebasar el punto inferior *d* del labio de salida del sifón.

Y claro es que en cuanto aparecían las primeras burbujas al exterior, se iniciaba el vacío de dentro;

cuyo fenómeno, en grado inapreciable durante los primeros momentos, se aceleraba después, poco a poco al principio y muy intensamente a continuación, elevándose como consecuencia de los vacíos inicial y



Fot. 5.ª Interior de la Sala de máquinas.

subsiguientes los niveles interiores *cb* y *an*, dando lugar este último al incremento progresivo del espesor de la lámina vertiente, con todas las consecuencias activadoras del cebamiento, cuyo proceso total se realizaba en unos dos minutos.

Federico CANTERO VILLAMIL
Ingeniero de Caminos

Las expropiaciones del Pantano del Ebro

El Pantano del Ebro es la obra hidráulica de regulación más importante que actualmente se está construyendo en España. Por su situación, a más de 800 m de altitud, representa un enorme potencial energético, y por la modificación estival capaz de producir el desembalse de sus 360 millones de metros cúbicos anuales una regulación del Ebro, que ha permitido calificarla con el ingeniero autor del proyecto como «obra fundamental y causante».

La realización de esta obra tan beneficiosa para el conjunto de los intereses del país tropieza con dificultades que, por su naturaleza, han trascendido de la parte administrativa hasta la pública opinión, y en la zona Campurriana, a que decisivamente afecta, constituyen el *leit motiv* de la comarcal preocupación.

Tratado el tema en repetidas formas y ocasiones, en folletos, periódicos y conferencias, podrá parecer que resulta agotado, y recordarlo nuevamente punto menos que reiterada redundancia inoportuna e ineficaz. Pero la misma permanencia del problema justifica de sobra la necesidad de nuevas orientaciones,

para conseguir un camino que permita llegar al fin de tan anheladas aspiraciones.

Prescindiendo de antecedentes, los cuales existen muy numerosos, nos enfrentamos al presente con la única y enorme dificultad del abono de la satisfactoria indemnización por la expropiación de la gran extensión que el embalse ha de ocupar en zona de más de 6 000 hectáreas, con varias aldeas y caseríos.

El problema del Pantano del Ebro radica en el de la expropiación de su vaso de embalse, cuya valoración alcanza cifras muy elevadas, aunque, desde luego, no excesivas en relación con el beneficio, inmediato y crecidísimo, que la obra puede reportar.

De ambos extremos, el administrativo legal de las expropiaciones y el económico-social de las indemnizaciones correspondientes, hemos de ocuparnos.

I. DERECHO

Antes de llegar al estudio de la aplicación de las leyes escritas al caso de las expropiaciones a que obli-