

La presa de Montejaque y la construcción moderna de presas ⁽¹⁾

La Administración española, y especialmente los ingenieros del Servicio hidrológico en Málaga, con su gran competencia en las investigaciones y experiencias de las ciencias técnicas, han hecho posible que la Compañía Sevillana de Electricidad construya en estos últimos años una presa de 82 m de altura, con arreglo a los más modernos adelantos de la técnica, por lo que es citada como ejemplo en Norteamérica.

Al disertar sobre la presa de Montejaque, interesa hacerlo desde el punto de vista de las experiencias modernas en la construcción de presas y obras de hormigón.

La presa de Montejaque embalsa las aguas del Gaduares donde el valle se estrecha formando una garganta. El Gaduares es un afluente del Guadiaro, que nace en las sierras de Grazelema y Villaluenga.

España es un país ya célebre en la construcción de presas desde la dominación mahometana.

En su libro *The design and construction of dams*, Eduardo Wegmann describe varias presas antiguas españolas. Menciona el dique de Almansa, construido en 1586 con un perfil transversal, según la figura 1.ª,

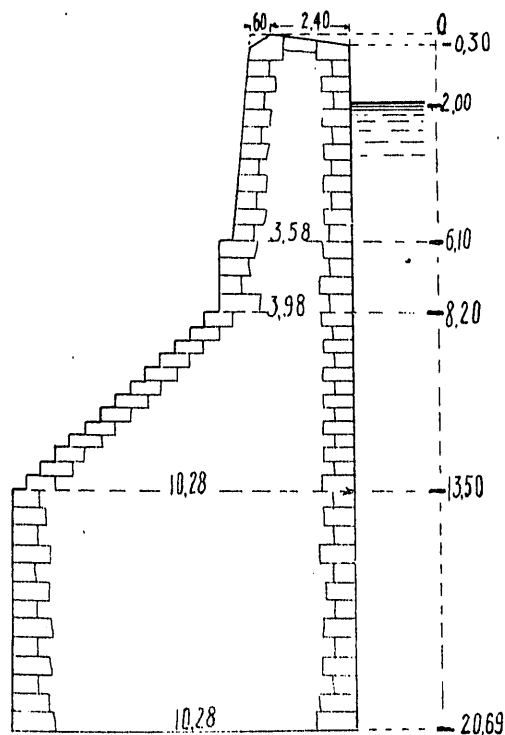


Fig. 1.ª Perfil de la presa de Almansa.

que no corresponde a las condiciones de un muro de gravedad. Sin embargo, continúa en pie, sin duda

(1) Honra este número de la REVISTA con su colaboración, que agradecemos, el eminente ingeniero Gruner, especializado en la construcción de grandes presas, entre las que citaremos la de Broc, en Suiza, y las de Montejaque y Cala, en España. Su gran autoridad técnica da valor excepcional al trabajo que a continuación publicamos.—(N. de la R.)

por su forma de arco. La altura máxima de la presa es de 20,69 m, y el radio de curvatura de 26,24 m, en el paramento de agua arriba. La parte superior no tiene forma de arco, sino poligonal. El ancho de la base es el 50 por 100 de la altura, que se reduce a 41 por 100, con un embalse de agua de 8 m de profundidad.

El dique más alto de los antiguos españoles, el de Alicante, todavía en servicio, construido en los años 1579-94 por Herrera, el célebre arquitecto de El Escorial, tiene una altura máxima de 41 m. Su sección, bastante amplia, no corresponde, sin embargo, por el ancho de su base, a las prescripciones de Lévy. También esta presa se puede considerar como de arco.

La presa de Montejaque no es, por consiguiente, la primera en arco de España, pues desde la Edad Media vemos que los constructores españoles mostraron su inclinación a dicha forma.

El profesor de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos Sr. González Quijano, en la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, Congreso de Madrid, presentó una interesante Nota «sobre el perfil de las presas de embalse».

El método de cálculo empleado para la presa de Montejaque es nuevo. Un primer avance de sus dimensiones se ha hecho según la fórmula americana $t = \frac{p \times r}{e}$, en la cual t = compresión media en el arco, p = presión sobre el arco (presión del agua), r = radio del arco exterior y e = espesor del muro, para someterlas después a un nuevo examen desde los siguientes puntos de vista:

Por una parte se considera el dique como un arco apoyado en sus extremos, y por otra como una viga empotrada en su base. Se determina la parte de presión del agua que pueda ser transmitida por los elementos horizontales, o sea por los arcos a los estribos, y la que será contrarrestada por los elementos verticales, o sea por las vigas.

Para llegar a este fin se hace la hipótesis de una determinada repartición de cargas, y se ve si coinciden los desplazamientos de los elementos verticales y horizontales en el sentido perpendicular al muro. Si es así, la repartición de las cargas se considera como buena. En caso contrario, hay que repetir los tanteos hasta llegar a tal coincidencia (1).

La figura 2.ª demuestra que el valle del río Gaduares, donde se ha construido la presa de Montejaque, se presta mucho a hacer un atajamiento.

El río Gaduares, después de atravesar un valle bastante ancho, entra en una garganta estrecha formada por el jurásico superior (titónico). Unos 500 m agua abajo de la entrada en la garganta, las aguas del río se pierden en una cueva inmensa llamada del Hundidero Grande. Las mismas aguas salen por la

(1) REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, 15 de julio de 1926 «La técnica moderna y las presas de embalse», por Carlos Botín, ingeniero de Caminos.

Cueva del Gato, a una distancia de 2,5 km de la primera, desembocando directamente en el río Guadiaro.

La situación de la presa es tal (fig. 3.^a) que en su base la cuerda del arco tiene solamente 16 m de longitud, y a la altura de la coronación 66 m. En una gar-

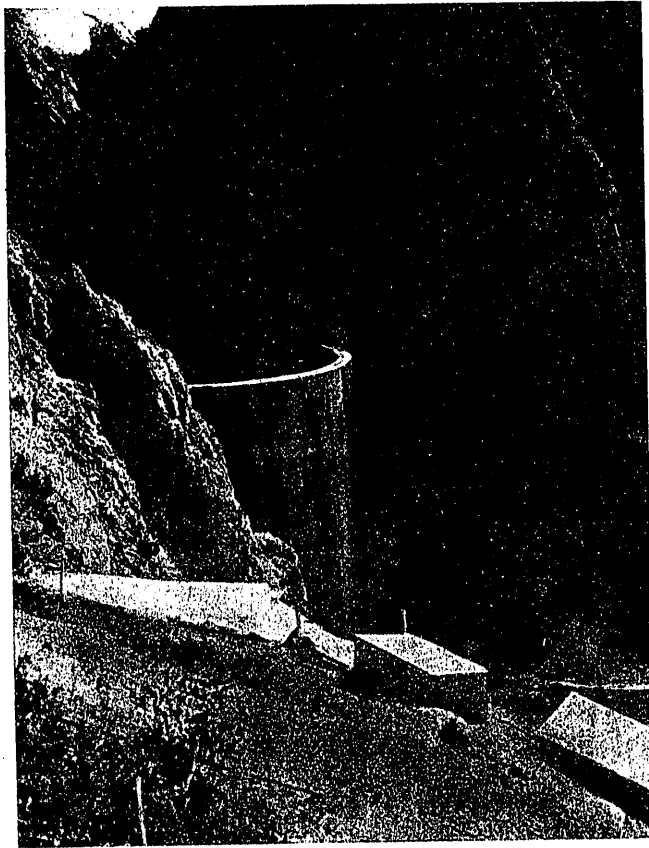


Fig. 2.^a La presa de Montejaque y la garganta del río Guadares. Vista tomada desde agua arriba.

ganta tan estrecha hay que tener en cuenta los esfuerzos laterales. Si esto no está previsto artificialmente, pueden formarse separaciones entre la roca y la mampostería, peligrosas también para muros de gravedad.

La más perfecta solución para cerrar tan estrechas gargantas es la de un muro en arco, tomando en consideración las presiones laterales, como el señor González Quijano lo explica en su obra.

Habrá que discutir si se construye un muro en arco delgado o un muro grueso arqueado; pero antes de solucionar este importante problema es preciso elegir la clase de materiales que se han de emplear.

Las presas de España, hasta los últimos tiempos, han sido de mampostería. La técnica del cemento no era bastante conocida para confiar en el hormigón de cemento; pero los grandes progresos, especialmente en el hormigón armado, han desarrollado dicha técnica de tal manera, que hoy día se construyen las presas de hormigón de cemento con la misma seguridad que antes las de mampostería. Además del empleo de un cemento de primera calidad y en cantidad suficiente, se han estudiado últimamente con especial esmero las proporciones de los distintos tamaños de los granos de la grava y de la arena y la cantidad de agua de la mezcla.

Todas estas cuestiones las estudian y tratan científicamente Abrams y Féret.

Se ha demostrado la posibilidad de fabricar un hormigón impermeable con 200-300 kg de cemento portland por metro cúbico, teniendo en cuenta una proporción adecuada de la mezcla, el tamaño de los granos de la grava y de la arena y la cantidad de agua del amasado, para lo que en la construcción de las grandes presas de hormigón de cemento es indispensable que el director de la obra organice un laboratorio donde se hagan comprobaciones continuas de resistencia de probetas con diferentes proporciones de mezcla que deben ser comprobadas durante todo el curso de la construcción.

A continuación se dan algunos ejemplos de proporciones de mezclas, para presas ejecutadas:

Presa de la Barberine (Cantón de Valais, Suiza):

Altura sobre el mar. 1 900 m.
 Altura máxima de la presa. 70 m.
 Muro de gravedad con hormigón más rico en los paramentos agua arriba y agua abajo.

	HORMIGÓN ORDINARIO		HORMIGÓN DE PARAMENTOS	
	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba
Cemento, kg	210	200	250	300
Arena, 0-8 mm, l.	459	460	447	433
Grava, 8-80 mm, l.	757	759	735	714
Agua, l.	177	177	181	188

Incluido 9 por 100 de cal hidráulica.

Presa de Wägital (Cantón de Schwyz, Suiza):

Altura sobre el mar. 900 m.
 Altura máxima de la presa. 100 m.
 Muro de gravedad con hormigón más rico en el paramento agua arriba.

	Hormigón ordinario	Hormigón de paramento	Hormigón de coronación
Cemento, kg.	189	225	155
Arena fina, 0-2 mm, l.	190	190	300
Arena gruesa, 2-10 mm, l.	322	322	320
Grava fina, 10-40 mm, l.	533	553	535
Grava gruesa, 40-80 mm, l.	301	301	307
Agua, l.	178	186	190

Presa de Montejaque (provincia de Málaga, España):

Cemento, kg. 225
 Arena, 0-10 mm, l. 500
 Grava, 10-70 mm, l. 800
 Agua, l. 192

Ninguna de estas tres presas tiene un revestimiento especial de piedras naturales, de enlucido o cualquier clase de pintura adecuada. Las tres están en explotación y la impermeabilidad comprobada. Fueron construidas según el método del hormigón colado; es decir, que al hormigón se añadió agua suficiente para que pudiera correr perfectamente por canales desde las hormigoneras hasta su sitio en obra, donde no quedaba más que extenderlo y librarlo del

que el hormigón llegase en buenas condiciones a la obra. Tal determinación se debe hacer en todas las obras donde se emplea el hormigón colado. El diámetro más grande de la grava se fija en 110 mm, pero el promedio no pasa de 76 mm en cualquier dirección. La cantidad del agua era el 9-10 por 100 de la masa. El hormigón corría muy bien y uniformemente en las canales, con una inclinación, relativamente pequeña, de 1 : 2,6 (21°). El hormigón se ha hecho con 225 kg de cemento portland por metro cúbico de hormigón terminado.

A continuación van los resultados de algunos ensayos:

Número 10. Cubos de 20 × 20 × 20 cm:
Situación en el muro, agua abajo a la derecha, cota 630.
Peso específico, 2,45.
Cantidad de cemento, 230 kg/m³.
Resistencia a la compresión, 132 kg/cm².
Edad, cuarenta y ocho días.

Número 21. Cubos de 30 × 30 × 30 cm:
Situación en el muro, a la derecha, cota 655.
Peso específico, 2,30.
Cantidad de cemento, 245 kg/m³.
Resistencia a la compresión, 171 kg/cm².
Edad, siete semanas.

Número 411. Cubos de 22 × 22 × 22 cm:
Situación en el muro, cota 663; tomado después del fraguado.
Peso específico, 2,41.
Cantidad de cemento, 235 kg/m³.
Resistencia a la compresión, 150 kg/cm².
Edad, cinco semanas.

Número 422. Cubos de 14 × 14 × 14 cm:
Situación en el muro, cota 663; tomado después del fraguado.
Peso específico, 2,37.
Cantidad de cemento, 235 kg/m³.
Resistencia a la compresión, 186 kg/cm².
Edad, dos meses.

Se observó pronto que, durante la construcción de la presa de Montejaque, las probetas de hormigón cortadas del muro mismo daban mejores resultados que las fabricadas en moldes con el mismo hormigón.

Para estudiar la influencia de la presión sobre el hormigón durante su fraguado, se hormigonaban algunos bloques, de los cuales fueron cortadas probetas a distintas alturas. Los resultados del ensayo a la compresión son los siguientes:

La probeta de la parte superior tenía una resistencia de	157 kg/cm ²
La probeta de la parte inferior tenía una resistencia de	179,7 kg/cm ²

Si el hormigón endurece bajo presión, la resistencia a la compresión resulta mayor que cuando fragua libremente.

Como resumen de estos experimentos, hechos durante los trabajos de hormigón de la presa de Montejaque, se deduce, que un muro de hormigón colado ofrece las mismas seguridades que un muro de mampostería del sistema antiguo, siempre que el cemento y el árido sean objeto de una vigilancia y cuidado minuciosos. El revestimiento no es necesario, pues con una dosis relativamente pequeña de cemento se obtiene un hormigón impermeable.

Para el estudio del proyecto y el cálculo de una presa moderna deben también tenerse en cuenta otros

factores muy importantes. Hablemos de la subpresión.

Se sabe hoy, que calcular la presa según las prescripciones de Lévy con la total subpresión no responde a la realidad de los actuales métodos de construcción. Está completamente descartado que un muro quede expuesto a dicho empuje total, lo que equivaldría a considerar un muro flotante y las juntas por completo abiertas. Si se tiene en cuenta que cada junta quede adherida en un 50 por 100 en su parte inferior, la subpresión se reduce a la mitad de la total. Las prescripciones italianas permiten llegar a tal extremo, mientras que el autor de este artículo calcula generalmente con 70 por 100 de la subpresión en caso de cimientos en roca buena.

Para aclarar tan importante cuestión, deberían efectuarse cuantos ensayos fueran posibles en todas las presas. Muy pocos se han practicado, y la menor parte con resultado satisfactorio. Esto es explicable, pues, como se ha dicho anteriormente, en una sección determinada del muro sólo una parte está sometida a subpresión, y resulta que si el tubo de ensayo llega a un sitio donde existe aquella, ésta se manifestaría, y si no existe no se obtendría resultado positivo.

En la presa de Broc se instalaron varios tubos de ensayos, pero en ninguno se observó subpresión. Las mejores observaciones que conocemos se han practicado en las pilas de la presa de compuertas de Eglisau (Suiza). Las varias series de tubos piezométricos colocados fueron de muy fácil examen. En la figura 7.^a se dan algunos resultados de estas observaciones. Al entrar el agua en la mampostería se observaba una pérdida considerable de carga, y la presión disminuía rápidamente hacia agua abajo. La presa de Eglisau está cimentada sobre molasa y, como demuestra dicha figura 7.^a, la presión máxima observada corresponde al 70 por 100 de la subpre-

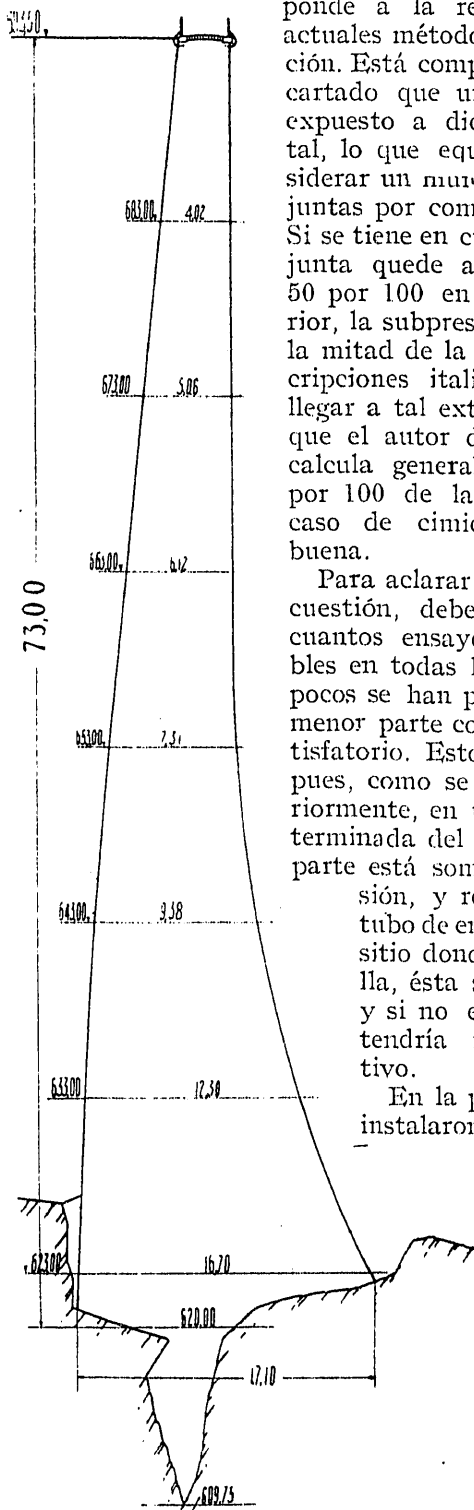


Fig. 3. a. Perfil de la presa de Montejaque.

En la figura 7.^a se dan algunos resultados de estas observaciones. Al entrar el agua en la mampostería se observaba una pérdida considerable de carga, y la presión disminuía rápidamente hacia agua abajo. La presa de Eglisau está cimentada sobre molasa y, como demuestra dicha figura 7.^a, la presión máxima observada corresponde al 70 por 100 de la subpre-

sión total. Observaciones análogas se han practicado últimamente en varias presas americanas.

Dicha subpresión tiene bastante menos importancia en un muro en arco que en uno de gravedad, pues si ocurriese un error en el cálculo del empuje

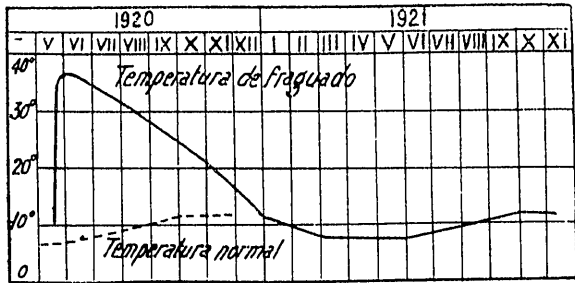


Fig. 4.ª Elevación de la temperatura en el macizo de la presa de Broc, a causa del fraguado.

del agua, la consecuencia sería un desplazamiento del ataque de las fuerzas; es decir, que los estribos laterales y los arcos horizontales soportarían más carga que las vigas verticales. De todos modos, es interesante estudiar también las particularidades de la subpresión en las presas en arco.

Los constructores modernos de presas tienen la tendencia a que en sus cálculos la subpresión sea lo más pequeña posible, lo que se logra poniendo los medios para evitar realmente tal fuerza. El principal es preparar cuidadosamente los cimientos. En todo caso, hay que llevar éstos hasta la roca sana, cubriéndola luego con una capa de mortero. Si por debajo de los cimientos se notasen algunas grietas o fallas abiertas, es preciso rellenarlas con mortero o lechada de cemento por medio de inyecciones. En la presa de Montejaque se inyectaron en la base y en los estribos varias toneladas de cemento por la «Svenska Diamantbergbornings Aktiebolaget».

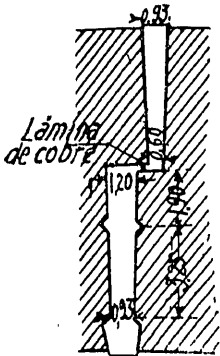


Fig. 5.ª Junta de contracción de la presa de Broc.

Debido a las desfavorables condiciones geológicas de Montejaque, las inyecciones en esta presa no pueden servir de ejemplo; en cambio lo son las ejecutadas en la presa de la Barberine, cimentada sobre granito en una superficie de 7 250 m², donde se adoptaron dos métodos de ejecución.

1.º Inyecciones a alta presión, aplicadas en el rastrillo de agua arriba y en los cimientos del mismo. Los agujeros de sondaje tenían una profundidad de 12 a 25 m, y por término medio se gastaron en cada uno 600 kg de cemento con oscilaciones de cero a 3 900 kg.

2.º Inyecciones a baja presión, aplicadas sobre toda la superficie de los cimientos. Los agujeros tenían solamente de 1 a 2 m de profundidad y para cada uno se gastaron de 75 a 150 kg de cemento.

Puesta en servicio, resultó la presa completamente impermeable.

También la presa de Wäggital, apoyada sobre caliza, ha sido impermeabilizada por medio de inyecciones. En conjunto se han perforado 861 m de

agujeros, en los cuales se inyectaron 390 250 litros de mortero con 77 085 kg de cemento y una presión de veintisiete atmósferas. Llegaron a reducirse las pérdidas de agua a un mínimo insignificante.

Con respecto a la contracción del hormigón, la construcción de masas grandes ofrece ciertas dificultades. Principalmente la contracción del hormigón está relacionada con el calentamiento que se observa una vez vertido el hormigón en la obra. Hasta hace poco tiempo no existían observaciones sobre el particular.

Durante la construcción de la presa de Broc se han introducido en el muro algunos termómetros eléctricos, con cuyas observaciones se ha determinado la curva de las temperaturas (fig. 4.ª). Sería conveniente hacer estas observaciones termométricas en todas las grandes presas, como se ha efectuado en Suiza para las de Barberine y Wäggital. En la presa de Montejaque faltaron los créditos para estas observaciones.

Para evitar la formación de grietas a consecuencia de las contracciones del hormigón, se había previsto en la presa de Broc dos juntas de dilatación, con la sección indicada en la figura 5.ª Pero entonces no se conocían las relaciones de las temperaturas en el hormigón, y dichas juntas quedaron cerradas demasiado pronto. Luego se observaba, que el hormigón para el relleno de las juntas quedaba separado del muro y era preciso rellenar las grietas con mortero de cemento por medio de inyecciones.

La presa de Montejaque es mucho más elástica que la de Broc, y por esta razón se ha renunciado a las juntas de dilatación. Por regla general cada hilada se ha hecho con tres bloques, empezando, sea con los dos laterales, sea con el del medio. Las juntas entre los bloques quedaron siempre solapadas. Esta

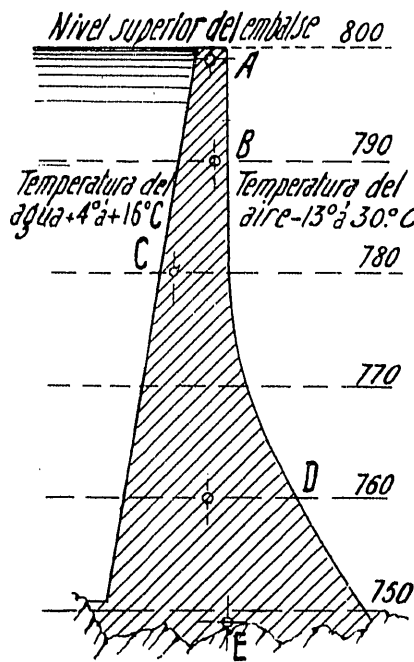


Fig. 6.ª Disposición de los termómetros en la presa de Broc. Temperaturas máxima y mínima observadas en los años 1923 a 1925: A, de 20,0° a -1,5° C.; B, de 8,9° a -4,7°; C, de 6,0° a 2,0°; D, de 11,0° a 4,0°; E, de 8,7° a 5,7°.

manera de hormigonar por bloques, que se emplea actualmente en la construcción de la presa del salto de Cala (Sevilla), tiene la ventaja de que por lo menos el hueco producido por la contracción de un bloque queda relleno por otro. Se terminó la presa de Montejaque sin que se presentasen grietas. Últimamente se observaron algunas, de poca profundidad, en la coronación del muro.

Salvo las primeras variaciones, las presas grandes adquieren con el tiempo temperaturas uniformes, que varían poco con las de la atmósfera.

Durante los años 1923-25 se observaron los ter-

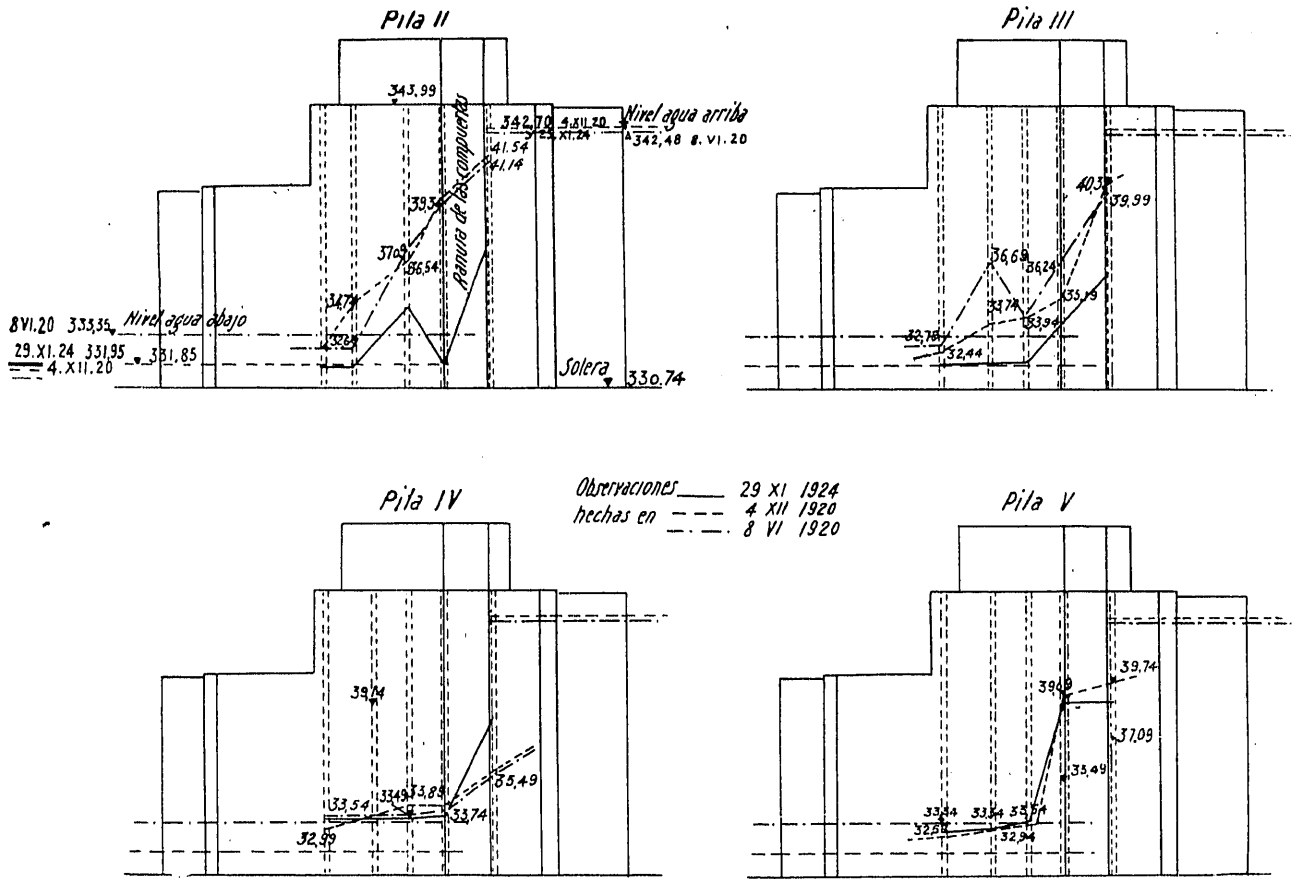


Fig 7.ª Observaciones piezométricas en las pilas de la presa de Eglisan.

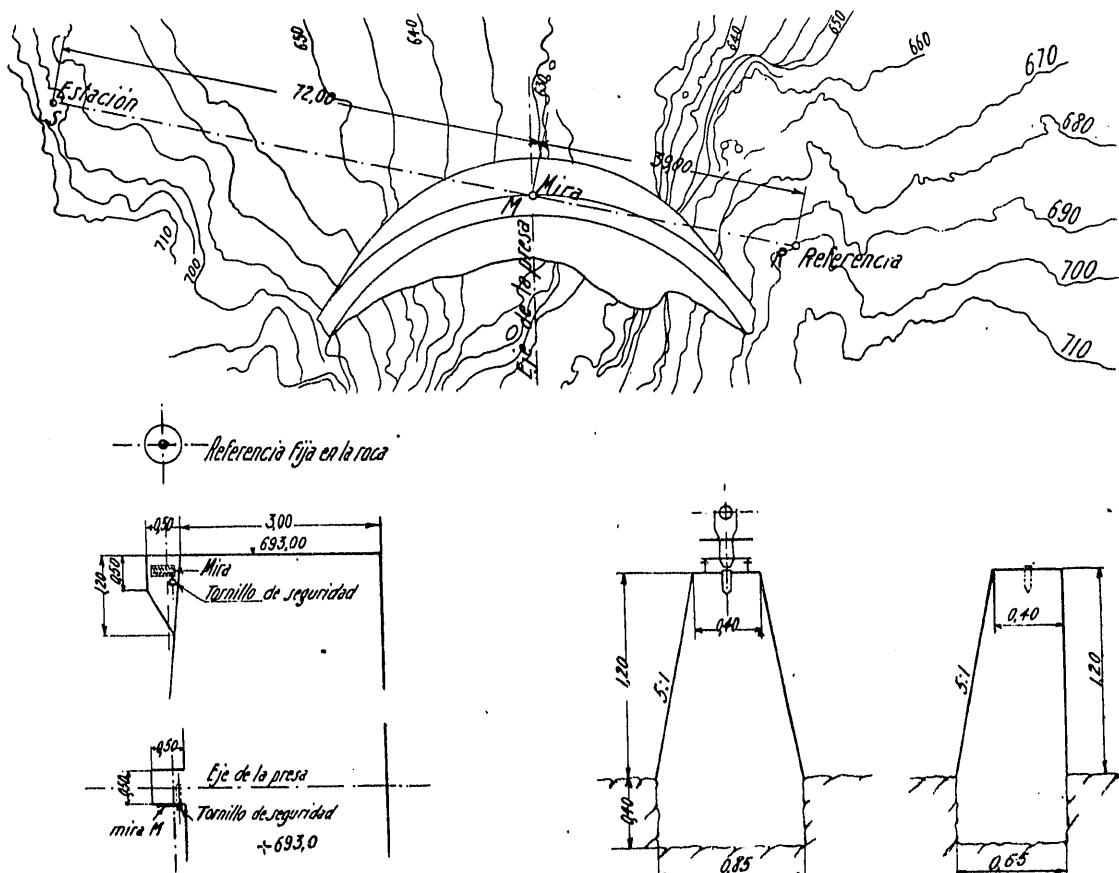


Fig. 8.ª a. Instalación para observar los movimientos de la clave de la presa de Montejaque.

vimientos, sino también en muros con sección bastante mayor, de planta rectilínea, según las teorías más modernas. La contracción a consecuencia de los fenómenos del fraguado y del enfriamiento es más perceptible en la presa de gravedad que en las de arco.

El constructor tiene interés en evitar en lo posible la acción lateral del muro. Estas reflexiones, unidas

por el autor de este artículo. Se ve en esta relación que el número de estas presas aumenta siempre y que su construcción es cada vez más atrevida. Un caso muy interesante fué observado últimamente en América en dos pequeños muros en arco (1). Una crecida arrastró un estribo de cada uno de los muros y, sin embargo, no cayeron, resistiendo a la presión del agua, sin sufrir daño, lo que demuestra que al forma de arco es muy favorable en las presas.

Cuando se construían las presas de mampostería, por cuenta del Estado, para riegos y defensa contra crecidas, el plazo de terminación no tenía el papel importante de hoy. Avances semanales de 200 a 300 m³ se consideraban satisfactorios. Estas condiciones han cambiado por completo cuando, por la economía de energía, se llegaba a construir presas para establecer depósitos reguladores.

En una economía racional, el capital debe producir intereses desde el primer día, y, por consiguiente, es muy importante que la presa esté terminada dentro del más corto plazo posible. Por esto se emplea el hormigón colado.

Entre las presas modernas, la de Broc, con 26 000 metros cúbicos de hormigón apisonado, se ha terminado en doce meses, con un avance semanal máximo de 1 100 m³. La del Wäggitäl, con un volumen de 236 000 m³, se terminaba en diez y ocho meses, con una interrupción de dos a tres meses durante el invierno, alcanzando un avance semanal máximo de 10 000 m³. La de Barberine tiene un volumen de 200 000 m³. La construcción duró cuatro años, pues a causa de las condiciones climatológicas no era posible trabajar más de cuatro a cinco meses al año. Se llegó a un avance semanal de 5 000 m³, como máximo.

La de Montejaque, con 28 000 m³ de hormigón colado, quedó terminada en treinta y seis semanas, alcanzando un avance semanal máximo de 1 550 m³. Se ve que también la presa de Montejaque merece ser mencionada entre las construcciones ejecutadas según los métodos modernos.



Fig. 10 b. Tapamiento de las juntas de contracción en la coronación de la presa de Wäggitäl.

a la observación de grietas en presas de gravedad y otros muros largos de hormigón, han llevado a intercalar juntas de contracción. Se impide la filtración del agua por éstas (que son grietas artificiales) poniendo en ellas determinados obstáculos que, durante un cierto período, han sido chapas de cobre, como, por ejemplo, en Broc (fig. 5.^a), o en la presa del Spullersee (fig. 9.^a). Se ve, que detrás del paramento de agua arriba quedó empotrada una chapa de cobre con doble curvatura. Detrás de ella se encuentran dos pozos; el primero se rellena con hormigón y el segundo, abierto, sirve como pozo de inspección. La junta agua arriba quedó calafateada con plomo esponjoso. La presa resultó completamente impermeable.

Considerando algo dudoso el efecto de una chapa de cobre, desistieron de colocarla en la presa de Wäggitäl; en cambio se puso una vigüeta de hormigón armado, como se ve en la figura 10. Esta vigüeta está colocada en una ranura forrada de cartón embreado. Además, en el primer pozo vertical se cierra la junta con una losa especial de hormigón armado, y más tarde se llena el pozo con hormigón o arcilla. El segundo queda abierto, sirviendo como pozo de inspección. Con esta disposición se obtuvieron buenos resultados.

En la presa del salto de Cala, que se construye actualmente para la Compañía Sevillana de Electricidad, se ha simplificado la disposición de impermeabilizar las juntas de contracción (fig. 11). Quedaron eliminadas tanto la chapa de cobre como la vigüeta de hormigón armado. Después de la contracción del hormigón se observaba una abertura de 3 mm en la junta de dilatación. Agua arriba, dicha junta quedó calafateada con yute y luego pintada con inertol. El primer pozo se ha llenado con hormigón el invierno de 1926-27.

Es muy importante cubrir las juntas de dilatación en su parte superior, para evitar que el agua pueda filtrarse verticalmente; esto es tanto más expuesto cuanto más frío hace, por el peligro de las heladas. Un modo muy a propósito para cubrir tales juntas se ha aplicado en el Wäggitäl (fig. 10).

Para terminar, se indican en la figura 12 todas las presas construidas en forma de arco y conocidas

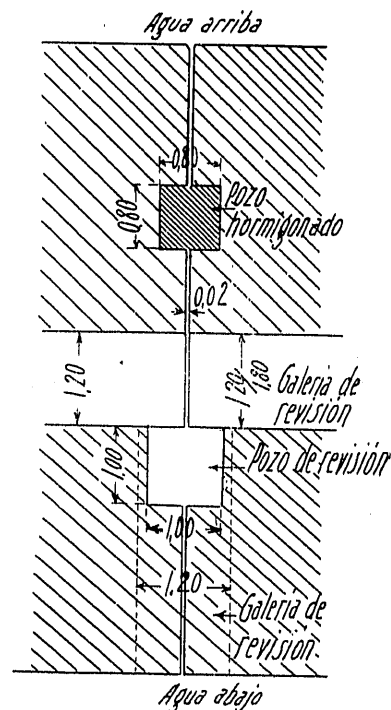
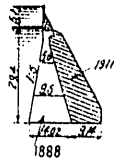
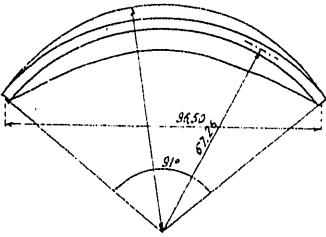


Fig. 11. Juntas de contracción de la presa de Cala.

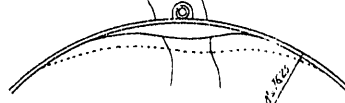
(1) «Moyic River Dam Idaho» y «Lake Lanier Dam Tryon, N. C.»

ESTADOS-UNIDOS

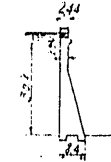
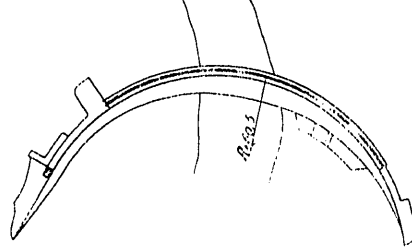
Sweetwater
California
1888



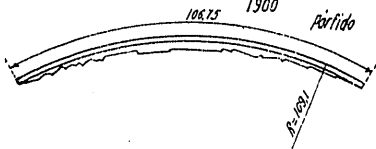
Las Vegas
N. MEXICO
1910



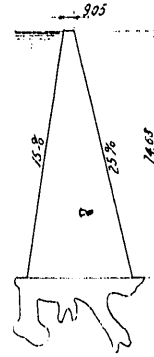
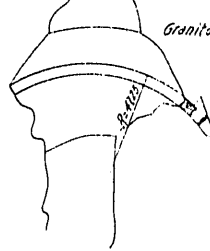
Warm Springs
Oregon
1920



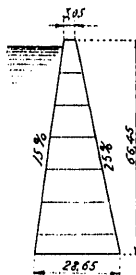
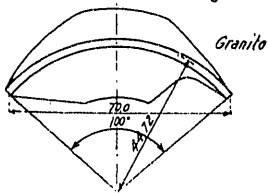
Upper Olay
California
1900



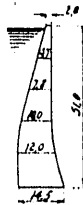
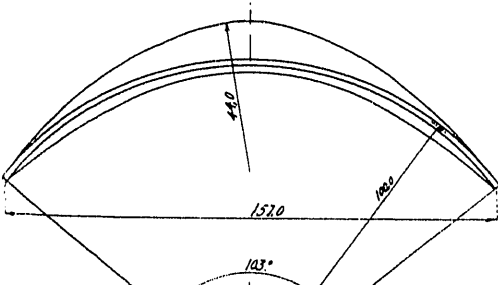
Shoshone
Wyoming 1910



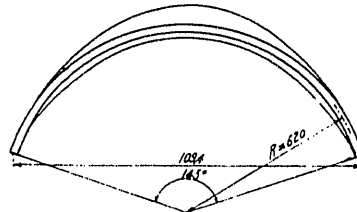
Pathfinder (Ludin)
Wyoming, 1905-1910



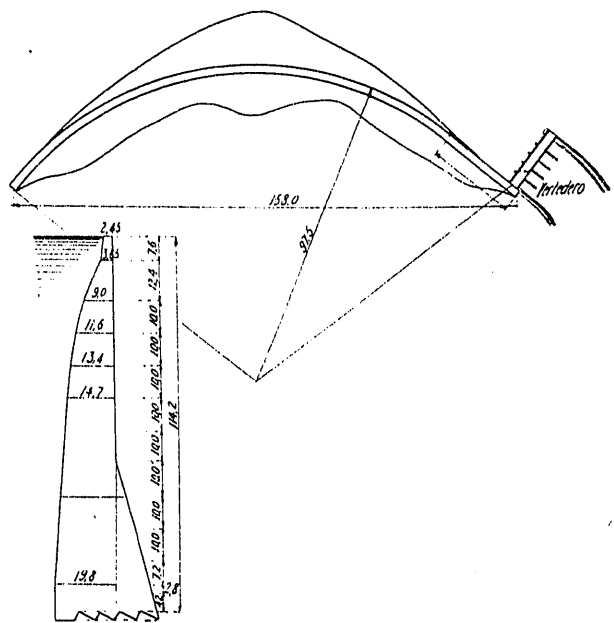
Salmon-Creek, Alaska
1914



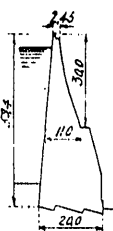
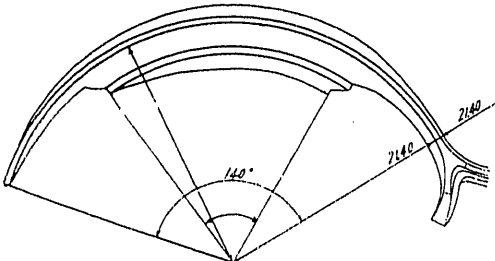
Kerkhoff



Pacoima, Calif. 1922



Gibraltar, California 1913-14



Thin 1919
veredero 98.5

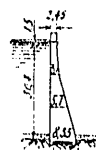
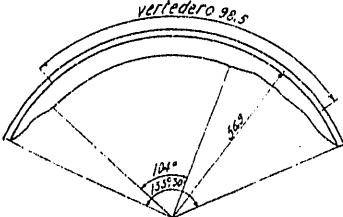


Fig. 12 a. Esquemas de presas bóvedas construidas.

Muy importante en la construcción de una presa es la desviación del agua durante la ejecución de la obra. En la de Montejaque fué preciso prever un desagüe de fondo fuera de la presa, pues el cálculo de la misma se basaba en que el arco fuese continuo desde sus cimientos. La situación de la galería de desagüe está indicada en la figura 3.^a Se ve que dicha galería pasa fuera de los cimientos de la presa

al lado izquierdo. El cierre de la galería de fondo se hace por medio de una válvula de mariposa, de 1,80 m de diámetro con mando de émbolo motor, suministrada por «Ateliers des Charmilles», de Ginebra (figura 13).

En un principio, hasta que los trabajos de impermeabilización dieron cierto resultado, las aguas quedaron almacenadas en el pantano de Montejaque,

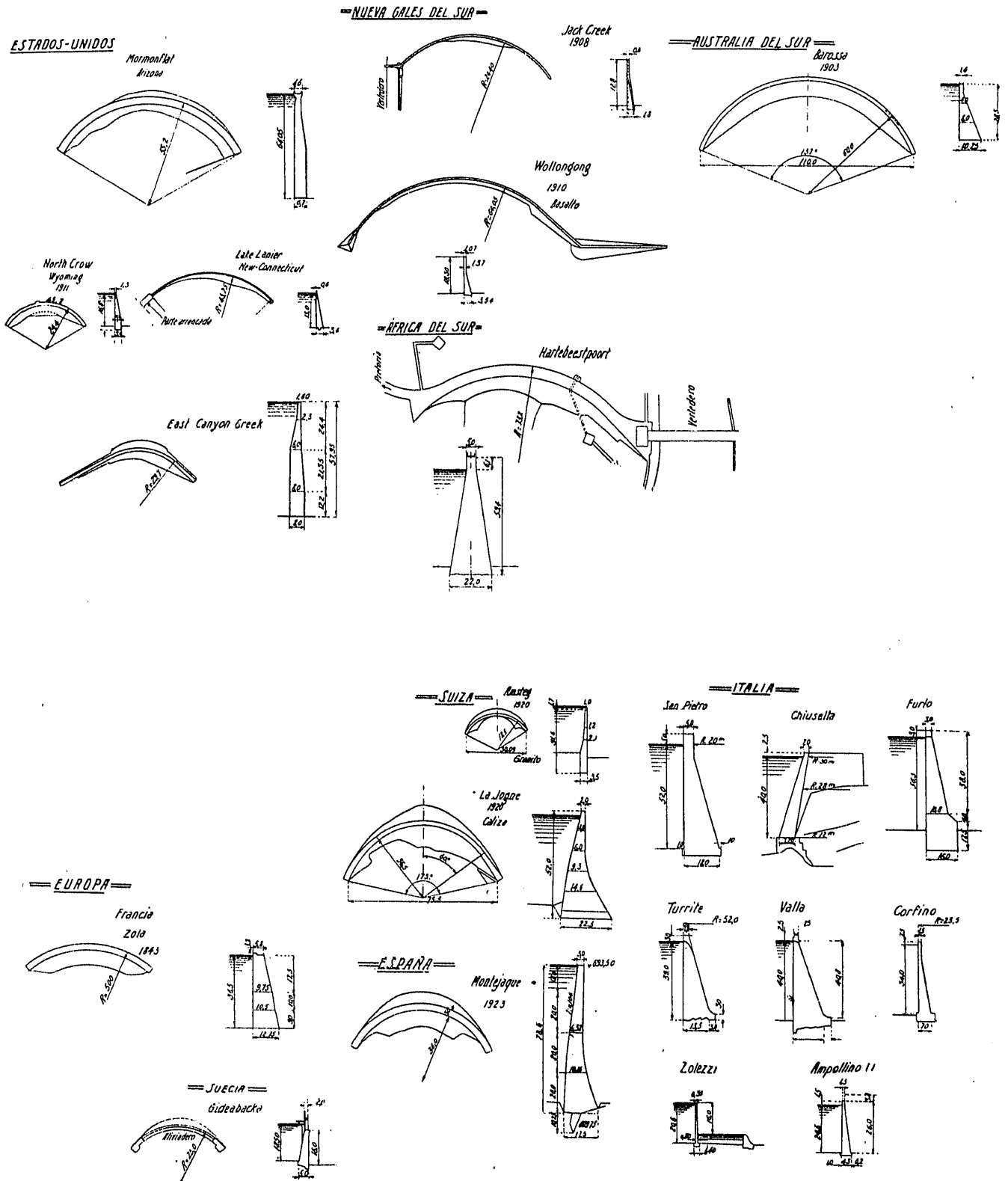


Fig. 12 c. Esquemas de presas-bóvedas construídas.

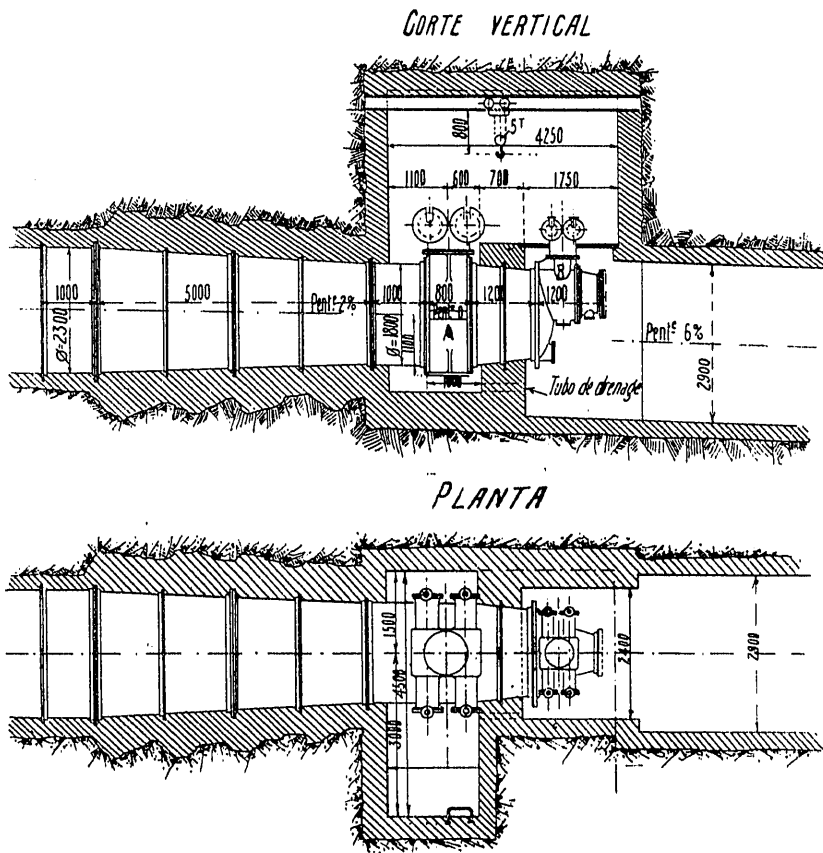


Fig. 13. Válvulas de mariposa en la galería de derivación del pantano de Montejaque, movidas por servomotores de aceite. La válvula grande A sirvió durante la construcción para la evacuación de avenidas. Posteriormente se ha instalado la válvula B, para la más precisa regulación requerida por las centrales de agua abajo. (Suministro de Ateliers des Charmilles, S. A.)

como reserva para la fábrica de electricidad de Gaucín, sobre el Guadiaro. Para ajustar mejor el

da sumergida, lo que sucedió a fines de noviembre de 1926.

H. E. GRUNER
Ingenieur-conseil
Basilea

Acoplamiento de alternadores ⁽¹⁾

II

Acoplamiento de alternadores según el diagrama clásico

Recordemos el diagrama clásico que representa el caso de dos alternadores iguales, trabajando en paralelo. Con pequeñas reformas se aplica al caso de dos alternadores diferentes. Se supone, con cierto error, que durante el balanceo de las masas giratorias, en relación con otras masas virtuales que girarán uniformemente, las f. e. m. de las máquinas permanecen constantes. En verdad, lo que permanece constante es la excitación de ambas máquinas, que no es lo mismo

Llamaremos: E_1 y E_2 , a las f. e. m. de ambas máquinas, iguales en valor absoluto, y α_1 y α_2 , a los ángulos de decalaje de estas f. e. m. con relación a la corriente; φ , al ángulo de decalaje propio del cir-

cuito externo con $\text{tag } \rho = \frac{X}{R}$, y ψ a la relación de cada máquina haciendo $\text{tag } \psi = \frac{\lambda}{r}$. Sean I_1 , I_2 e I las corrientes en cada máquina y en el circuito exterior.

El diagrama clásico nos muestra las f. e. m. de ambas máquinas y las f. e. m. sélficas BD_1 y BD_2 , como valores iguales a I_1z e I_2z , siendo z la impedancia constante de cada alternador $= \sqrt{\lambda^2 + r^2}$.

El triángulo BD_1X , es semejante al $I - I_1 - I_2$. Por tanto, $BX = zI$ y $Bm = zI/2$ y el ángulo $KOm = (\alpha_1 + \alpha_2) : 2$.

Fácil es demostrar que este ángulo que forma la bisectriz de OD_1 y OD_2 con OI es constante, aunque oscile la fase de E_1 y E_2 ; porque cualquiera que sea la intensidad de la corriente, OI , en proporción, a su valor se debe tomar el punto B sobre la recta fija OB , y en la misma relación y en la dirección también fija OX , se debe situar el punto m , a la distan-

(1) Véase el número anterior, página 109.