

Evolución de los sistemas de construcción de presas de hormigón en España, durante los últimos quince años

Por CARLOS DUELO TOPETE

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
de «Dragados y Construcciones, S. A.»

Después de nuestra guerra y de la mundial, en que se produjo una detención en la evolución de los sistemas de construcción de las grandes obras hidráulicas, nuestro país todavía sufrió un período de aislamiento económico que hizo muy difícil el progreso de estas técnicas y su incorporación a los avances que se iban desarrollando en el extranjero.

Mientras la mayor parte de los países europeos recibían ayudas para recuperar el tiempo perdido y rebasarlo rápidamente, aquí era extremadamente difícil conseguir la más elemental maquinaria, e incluso hierro y cemento, para la realización de estas construcciones aun con los sistemas empleados antes de estos tiempos.

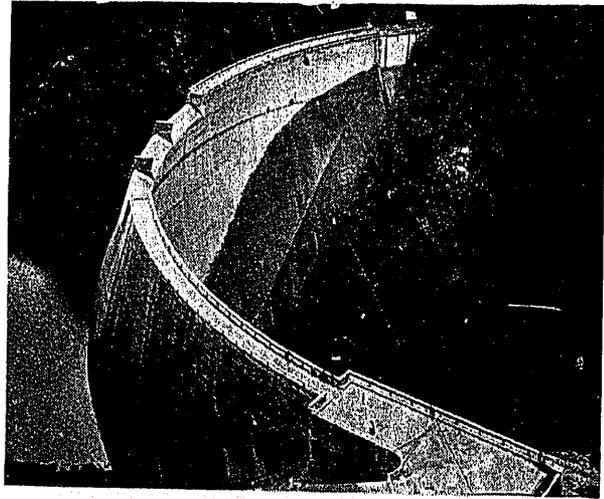
Es a partir de 1946 cuando puede considerarse que comenzó un período de superación e ingente trabajo, que ha hecho que se llegue en la actualidad a estar en muchos aspectos a la altura de otros países de Europa.

Este impulso ha sido posible por la decisión y valentía de una serie de empresas hidroeléctricas privadas y del Estado, en colaboración con la naciente industria de maquinaria, y un grupo de empresas de construcción que, con su esfuerzo y una visión clara, fueron completando sus equipos para poder pasar de la vía y vagoneta a los blondines telemandados; de la hormigonera y la canaleta a las torres de hormigonado electrónicas, y del pisón al vibrador de 5,5" y 10 000 golpes por minuto.

En cuanto a la maquinaria de construcción, la industria española está capacitada en estos momentos para montar, casi por completo, cualquier obra de presa de hormigón con las máquinas más modernas y eficientes, si bien entendemos que es preferible importar algunas de tipo especial, para las que existe un mercado reducido que impide su fabricación nacional en condiciones económicas, y a esto último se va ahora con la liberalización progresiva de las importaciones de máquinas y repuestos.

Los dos aspectos en los que el progreso se ha hecho más patente en este período de tiempo, son la calidad de las obras y la aceleración de los ritmos con la consiguiente reducción en los plazos de ejecución.

La mejora en la calidad ha dado a las obras una mayor seguridad y permanencia, evitando averías, reparaciones y consolidaciones costosas en sí y por su repercusión en la explotación. Al mismo tiempo y de forma fundamental, ha permitido proyec-



Presas del Eume.

tar y realizar tipos de estructuras con tensiones más elevadas, como las cúpulas, que han significado grandes economías con mayor seguridad.

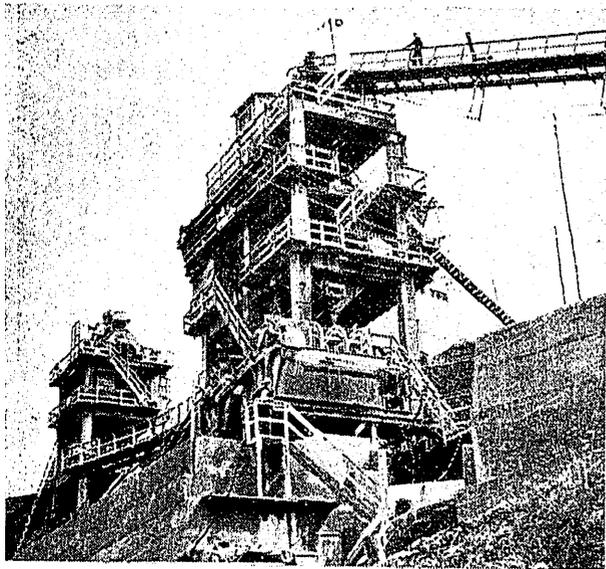
En la enumeración de las mejoras de calidad conseguidas, hemos de contar con un más completo estudio geológico del terreno de cimentación y de sus cargas admisibles, sistemas de drenaje y de inyecciones de consolidación e impermeabilización, así como con un plan de excavaciones estudiado para que las superficies de asiento del hormigón sobre la roca sean las adecuadas en relación con la dirección de los esfuerzos.

En cuanto a la calidad del hormigón, ha sido extraordinario el avance, debido tanto a la mejora de los áridos como a la de los sistemas de elaboración, transporte y puesta en obra. Es realmente trascendental el perfeccionamiento de la obtención de los áridos con el empleo de trenes de machaqueo adecuados a la roca de la cantera disponible, con varios escalones en la trituración y con un sistema de "reciclaje" que permite remachacar o moler aquellos tamaños que sea necesario para obtener la curva granulométrica más conveniente y económica. Esto ha sido completado ampliando los trenes de clasificación y lavado, que han facilitado la clasificación en mayor número de tamaños de árido limpio, sin los finos inferiores a 0,17 mm., y sobre todo una clasificación de las arenas separadas en dos o más ta-

maños, en lo que indudablemente está la clave de un buen hormigón.

Este tratamiento en la clasificación de los áridos ha llegado a ser tan escrupuloso que se emplean sistemas como el de las escalas en el vertido del árido ya clasificado sobre su silo, para evitar el que en su caída pueda trocarse y con ello perder el rigor de la clasificación.

Como hemos apuntado más arriba, es necesario cuidar de una forma especial de la clasificación y



Instalación de machaqueo secundario, molienda, lavado y clasificación, de la presa de Bao.

lavado de las arenas, por lo que también en su obtención es conveniente establecer varios escalones de molienda, y en algunos casos se ha hecho precisa la instalación de molinos de barras. Entendemos fundamental, por lo menos, la separación de la arena fina en un tamaño inferior independiente de 0,17 a 2 mm., que, como es natural, hay que separarlo con criba vibrante bajo chorro de agua y posterior lavado, o bien por medio de uno de los sistemas hidrodinámicos que indudablemente son mejores porque admiten la clasificación de las arenas en mayor número de tamaños, que luego pueden recomponerse por dosificación en volumen sobre una cinta transportadora y así conseguir la curva granulométrica más conveniente.

En el laboratorio se determina, simultáneamente con la puesta a punto de la instalación, la dosificación más adecuada de estos áridos, que siempre será aquella que dé más compacidad al hormigón. De esta forma obtendremos el máximo ahorro de cemento para la misma resistencia de rotura, cosa de gran importancia, por la economía que representa en el costo del metro cúbico del hormigón.

El uso de las modernas torres de hormigonado,

con dosificación en peso de forma automática y electrónica y con selección entre varias dosificaciones preestablecidas, ha hecho posible la fabricación del hormigón a altos ritmos respetando la precisión del laboratorio de control.

El transporte del hormigón desde la tolva de salida de la torre de hormigonado, hasta su colocación en obra, se realiza de forma que su caída libre sea inferior a un metro, para evitar la disgregación, habiéndose generalizado el uso de "silobuses" sobre neumáticos hasta el cubo del blondín o la grúa, que constituyen el último vehículo de transporte. A veces ha de completarse, en las zonas no barridas por ellos, con "dumper" o "bulldozer".

El vibrado del hormigón es otra de las prácticas que se ha impuesto en este período y ha mejorado notablemente su densidad, impermeabilidad y resistencia. La utilización de vibradores de 5,5" y 10 000 golpes por minuto, ha permitido el empleo de tamaños máximos de árido de hasta 200 mm. y una perfecta colocación de hormigón con menor relación agua-cemento.

También se ha mejorado notablemente el tratamiento de las juntas de trabajo, pasando del costoso e imperfecto picado del mortero después de fraguado, a la limpieza del mismo en su comienzo con chorro de agua y aire, que deja perfectamente limpia la junta con todos los tamaños gruesos al descubierta.

En cuanto a los ritmos de ejecución de las obras, se han conseguido importantes reducciones en los plazos, que han dado como consecuencia que obras que antes del período que consideramos se realizaban en diez o quince años, ahora se construyan en tres, desde sus trabajos preparatorios hasta su puesta en servicio.

Estas reducciones se han producido tanto por la mecanización progresiva anteriormente esbozada, como por la también creciente experiencia del personal, adquirida en obras sucesivas, que ha hecho posible el estudio previo de un completo proyecto de construcción, en el que figuran sus instalaciones auxiliares y cada una de las partes y fases de la obra, que permite un desarrollo ordenado de la misma, que entendemos es primordial para la disminución del plazo, no sólo del hormigonado, sino también los de montaje de instalaciones, excavaciones, desviación del río, etc.

Es este aspecto del plazo, con el de la posibilidad de utilizar los nuevos tipos de estructuras, el que constituye la más importante economía conseguida en el conjunto del negocio de una explotación hidráulica y, desde luego, mucho mayor que la indudablemente alcanzada en el coste del metro cúbico de hormigón. Basta pensar lo que representa un año de explotación, ya sea hidroeléctrica o de regadío.

A continuación presentamos unos cuadros en los que se recogen datos comparativos de la experi-

PRESA	CHANDREJA	SAN ESTEBAN	PEÑARROYA	EUME	BAO	BELESAR
CARACTERISTICAS DE LA OBRA						
Tipo.	Contratuertes. 1 000 m. altit.	Arco gravedad.	Gravedad.	Cúpula.	Gravedad.	Cúpula.
Volumen total de hormigón.	160 000 m. ³ .	475 000 m. ³ .	107 000 m. ³ .	225 000 m. ³ .	472 000 m. ³ .	630 000 m. ³ .
Fechas de hormigonado.	De 3-51 a 9-53.	De 8-52 a 11-55.	De 7-55 a 10-56.	De 6-57 a 7-59.	De 6-58 a 3-60.	En construcción.
Rendimiento medio mensual.	5 334 m. ³ /mes.	12 179 m. ³ /mes.	7 133 m. ³ /mes.	9 000 m. ³ /mes.	22 476 m. ³ /mes.	—
Rendimiento punta mensual.	9 000 m. ³ /mes.	30 000 m. ³ /mes.	9 000 m. ³ /mes.	13 500 m. ³ /mes.	32 500 m. ³ /mes.	39 000 m. ³ /mes.
HORAS DE OPERARIO POR M.³ DE HORMIGON						
Cántera.	3,91 (en gneis).	3,76 (en gneis).	3,05 (en caliza).	1,69 (en granito).	0,74 (en gneis).	Piedra procedente de excavación y cantera granito
Carga y transporte.	1,06 (en tren a 400 m.).	3,76 (a 400 m.).	3,19 (a mano y vagones a 400 m.).	0,33 (a 400 m.).	0,68 (a 3 000 m.).	—
Machaqueo y clasificación.	0,53 (a cuatro tamaños s./lavar).	0,81 (cuatro tamaños s./lavar).	0,66 (tres tamaños s./lavar).	1,24 (cinco tamaños lavados).	1,19 (5 tamaños lavados).	1,11 (cinco tamaños lavados).
Varios.	0,11	—	—	—	—	—
Total mano obra en producción de áridos.	5,61	4,57	6,90	3,26	2,61	—
Dosificación y elaboración.	0,84 (dosificac. volumét.).	0,40 (dosificac. en peso).	0,49 (dosific. volumét.).	0,22 (dosificac. en peso).	0,13 (dosificac. en peso).	0,16 (dosificac. en peso).
Transporte.	0,69 (2 blondin. de 6 Tm.).	0,56 (2 blondin. de 12,5 Tm.).	0,36 (pasarela y trompa).	0,37 (2 blondin. de 6 Tm.).	0,21 (2 blondin. de 12,5 Tm.).	0,76 (2 blondin. de 12,5 Tm. y 2 grúas)
Extensión y vibrado.	1,92 (vibrador 2,5").	1,51 (vibrador 3").	0,54 (s./vibrar).	0,90 (vibrador 3").	0,53 (vibrador 5,5").	0,55 (vibrador 5,5").
Encofrado y desencofrado.	1,82	0,82	0,52	1,09	0,94	0,75
Limpieza y curado.	1,04 (picado a mano).	0,46 (agua y aire a presión).	0,29 (agua y aire a presión).	0,45 (agua y aire a presión).	0,24 (agua y aire a presión).	0,59 (agua y aire a presión).
Varios.	0,54	0,01	0,12	—	—	0,04
Total mano de obra fabricación y puesta en obra.	6,85	3,76	2,32	3,03	2,05	2,76
Total mano obra hormigón.	12,46	8,33	9,22	6,29	4,66	—
Alquiler de máquinas equivalente a horas operario por m. ³ .	3,74	3,98	2,09	4,21	4,39	—
Amortización instalaciones equivalentes a horas operario por m. ³ .	6,98	9,56	9,79	10,55	5,18	—
SUMA TOTAL EN HORAS/METRO CÚBICO.	23,18	21,87	21,10	21,05	14,23	—

CUADRO NÚM. 2. — Características de los hormigones.

P R E S A	Cemento — m. ³	Resistencia media a 28 días Kg./cm. ²	Coefficiente de dispersión — %	Densidad media — Tn./m. ³	Asiento en cono Abrams — mm.	Aireante — %	Número tamaños de aridos	Tamaño máx mo árido — mm.	Arido lavado
San Esteban.	180	107	16,95	2,35	50	3,5	4	150	No.
	242	166	13,96	2,30	45	3,5	4	150	No.
	242	184	11,37	2,35	45	0	4	150	No.
Peñarroya.	175	75	—	2,30	—	3,5	3	100	No.
Eume.	250	252	13,00	2,38	35	0	5	125	Si.
Bao.	175	174	16,88	2,34	50	3	5	150	Si.
	240	221	17,23	2,35	50	3	5	150	Si.
Belesar.	250	345	9,00	2,38	35	0	5	125	Si.

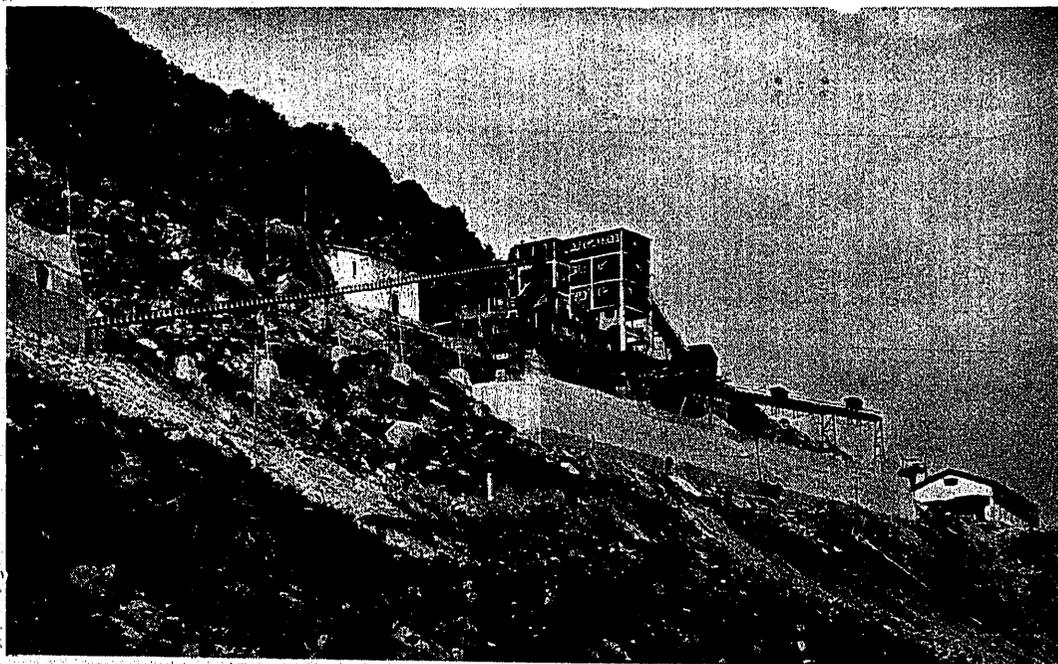
riencia de nuestra Empresa en alguna de las obras ejecutadas en estos últimos años.

En el cuadro número 1, en el que figuran en primer lugar las características de las obras, se dan las horas de personal directo empleadas en cada una de las operaciones de la ejecución del hormigón, y el total de esta mano de obra unitaria. Al final del cuadro, y para tener en cuenta de alguna forma la influencia de la mecanización, se consignan las ho-

ras de operario equivalentes a los costes de los alquileres de maquinaria y a la amortización de las instalaciones de hormigonado.

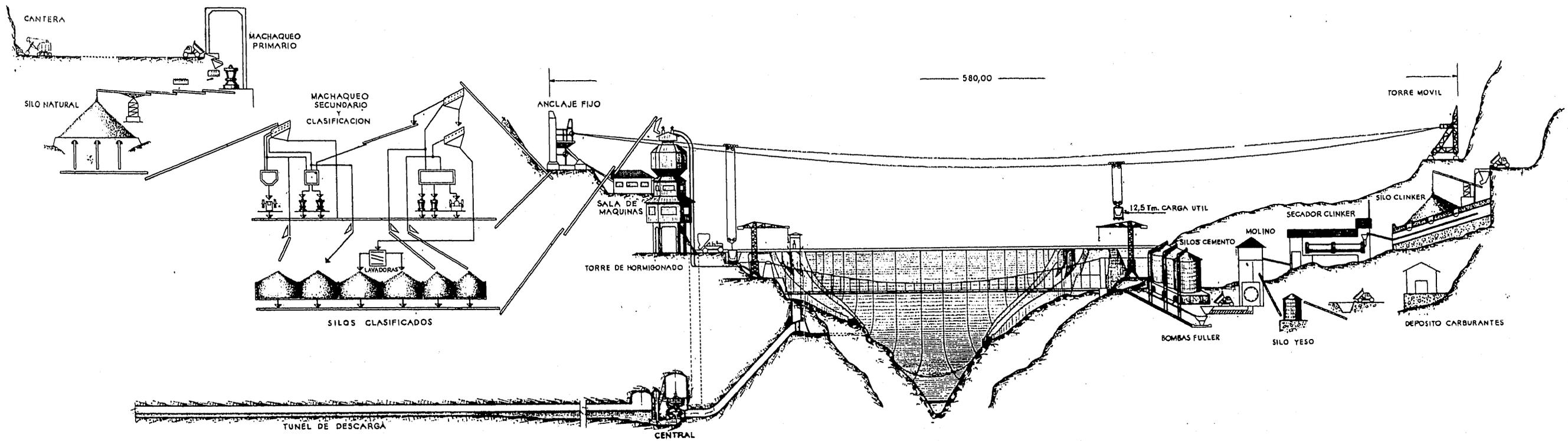
Hay que tener presente que en el valor de la hora de jornal se ha considerado su costo total, con la parte correspondiente a alojamientos, manutención y transporte, variable en cada obra y época, y con la proporción de especialistas.

En el cuadro número 2 se indican las caracterís-



Instalación de machaqueo secundario, molienda, lavado y clasificación, de la presa de Belesar.

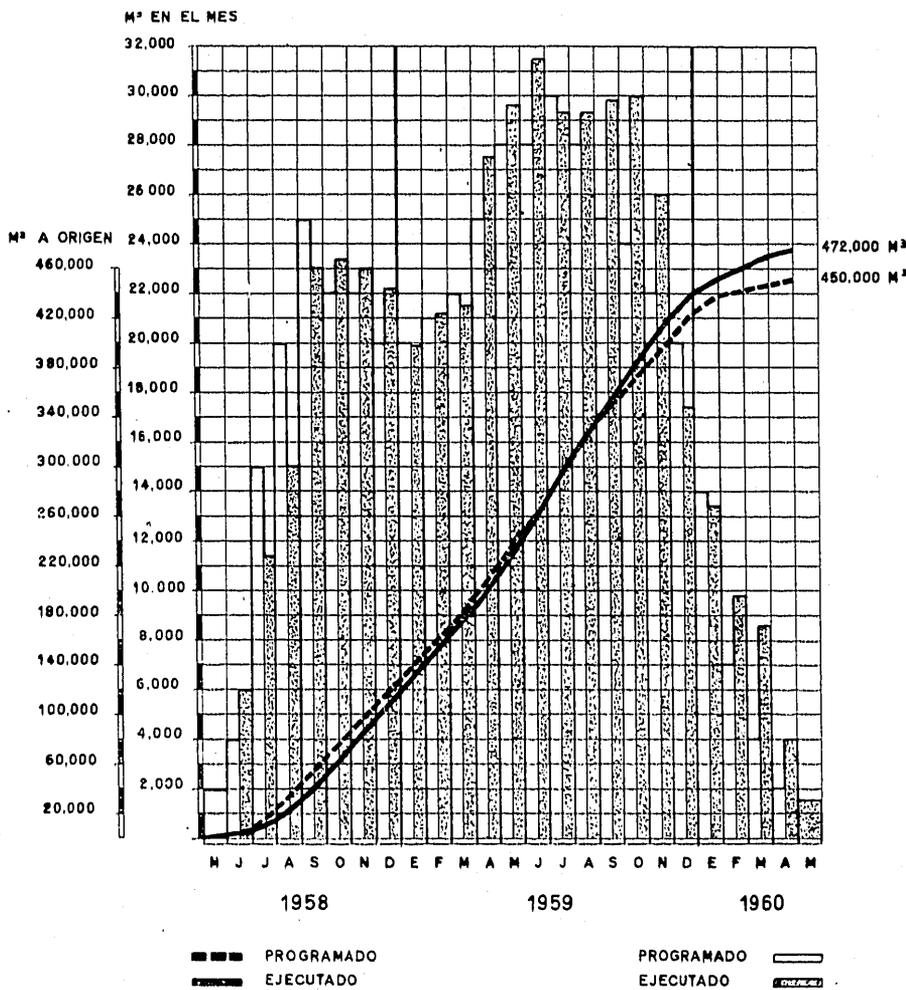
PRESA DE BELESAR. — PERFIL DE INSTALACIONES



ticas de los hormigones de algunas de estas obras, como complemento del cuadro anterior.

Para el análisis de estos índices debemos tener en cuenta que no existen dos obras iguales, por lo que se hace preciso considerar una serie de factores que, de forma principal, influyen en las mismas y

que pueden paralizar los trabajos en ciertos espacios de tiempo. Por último, la clase de la roca de la cantera y su distancia a la obra, así como la topografía de la cerrada y del emplazamiento de las instalaciones, que también actúan notablemente sobre la economía o encarecimiento relativo.



Hormigonado de la presa de Bao.

que a nuestro modo de ver son: el tipo de la presa, no sólo por el encofrado, sino también por la disponibilidad y magnitud de los bloques a hormigonar. El volumen total del hormigón sobre el que hay que amortizar la instalación y que será prácticamente la misma para un mismo ritmo de hormigonado. Ritmo de hormigonado que, al aumentarse, hace que se economice mano de obra en el metro cúbico, aunque para ello sean necesarias más instalaciones y maquinaria. El aislamiento de la obra, por la influencia que tiene en el costo de los jornales, tanto en sí como por la posible necesidad de alojamiento. La altitud y climatología, que repercuten en el rendimiento, sobre todo en zonas frías,

Considerando los datos anteriores, podemos ver la gran reducción que se ha experimentado en el empleo unitario de mano de obra en las distintas operaciones del hormigonado, así como en su suma con los índices correspondientes a maquinaria e instalación. Solamente se observa aumento en el machaqueo, por su mayor complejidad, y en el coeficiente correspondiente a la maquinaria por su mayor empleo.

Las dos primeras obras consignadas en el cuadro número 1, corresponden a una primera fase de mecanización, en la que aún existían muchas dificultades para completar los equipos necesarios, y en ellas se observan rendimientos comparables con los

de la tercera, en la que la mecanización fué muy reducida. El paso realmente importante se ha dado en las tres últimas obras reseñadas, en las cuales se pudo aplicar la experiencia obtenida en las anteriores, y se realizó una completa y detallada planificación previa de los trabajos que ha hecho que se desarrollen con gran precisión, como puede verse reflejado en el gráfico del cuadro número 3, correspondiente al hormigonado de la presa de Bao, que coincide casi exactamente con el previsto quince meses antes de su comienzo, al empezar la obra.

En estas últimas obras son de resaltar la media de hormigonado de 22 500 m.³/mes de Bao, con punta de 32 500 m.³/mes, y la punta de 39 000 metros cúbicos/mes de Belesar, juntamente con la calidad del hormigón de esta última, con un coeficiente de dispersión de 9 por 100 en la resistencia

de las probetas, que creemos realmente extraordinario.

Por último, también hemos de indicar que en las obras del Eume y Bao se han agotado las posibilidades de aumentar el ritmo de hormigonado, que ha estado limitado únicamente por los intervalos de tiempo que es preciso dejar entre el hormigonado de las tongadas sucesivas por el efecto de la temperatura de fraguado y por el número de dimensiones de los bloques.

Con todo lo expuesto deseamos haber dado una idea general del importante avance realizado en España en todos los campos de la construcción de presas de fábrica, con su mecanización, rapidez de ejecución, mejora de calidades y economía en el conjunto construcción-explotación, desde los tiempos del empleo de las canaletas y trompas de elefante hasta la actualidad.