

# EL PLAN DE HORMIGONADO DE UNA PRESA

Ing. C. C. P. C. DUELO

Para la buena realización de una obra es evidente que se necesita un buen proyecto en el que estén definidos con el mayor detalle posible cada uno de los elementos que la componen. En caso contrario, es sabido que durante su ejecución se producen titubeos, modificaciones de partes ya ejecutadas, retrasos en conocer datos necesarios, etc., que se traducen en falta de organización y demoras de plazo, que en definitiva van contra la economía de la obra.

Por razones totalmente similares, después de tener este proyecto se necesita también estudiar "cómo" y "cuándo" se construye. El proyecto de la obra concreta "dónde" se va a hacer, en qué consiste, qué servicio va a prestar y algo del "cuándo" al fijar un plazo de ejecución.

Este estudio de cómo y cuándo se van a construir cada uno de los elementos de la obra constituye un complemento del proyecto, al que cada día se le concede una mayor importancia, y se tiende a realizar con mayor precisión, por la evidente trascendencia que tiene en el desarrollo de la ejecución.

A este estudio se le conoce generalmente como planificación de la obra o quizá mejor como "proyecto de construcción", y en él se determinan los procedimientos, medios auxiliares, proyecto de instalaciones necesarias, ritmos, plazos, etc., de cada uno de los elementos que forman parte de la obra.

Como en el caso del proyecto de la obra, en el de construcción también existen varias soluciones, y en él hay que encontrar la más económica dentro de las condiciones exigidas.

En el proyecto de construcción de una presa de hormigón es indudable que juega un importante papel la determinación del plan de hormigonado más conveniente, de acuerdo con las circunstancias del caso. En lo que sigue vamos a hacer un análisis esquemático de las circunstancias que más normalmente se presentan, de cómo influyen en el plan de hormigonado y de la forma práctica de confeccionarlo.

## JUNTAS.

Como es conocido, el hormigonado de las presas es preciso hacerlo en bloques independientes que permitan un fraguado y curado del hormigón sin que se produzcan grietas por la retracción.

Estos bloques suelen estar, por este motivo, delimitados por juntas separadas del orden de los 15 metros en el sentido transversal y por los paramentos de la presa. En el caso en que la distancia entre los paramentos sea superior a unos 30 metros, también se disponen juntas longitudinales, con lo que las dimensiones máximas de la superficie de los bloques a hormigonar resulta de unos  $15 \times 30$  metros. Por el contrario, cuando el espesor de la presa es inferior a los 10 m., las juntas transversales se pueden distanciar más de los 15 m.

## TONGADAS.

El hormigonado de estas superficies se realiza por tongadas diarias cuya altura varía, según los casos, desde los 50 cm. a los 3 m.

Para la ejecución de estas tongadas, caso de permitirlo los espesores de la presa, se emplea modernamente el sistema mecánico de extensión y vibrado, que se realiza en tres fases prácticamente independientes.

En la primera de ellas, el blondín o grúa suelta su carga sin tener que esperar a nada, de modo que se van formando una serie de montones sobre el bloque de la presa, y cuando ya hay una cierta superficie cubierta por estos montones, los extiende un pequeño bulldozer empujando con la cuchara, lo que constituye la segunda fase.

La tercera fase es la de la vibración mecánica, que se realiza con una batería de vibradores de aguja iguales a los que anteriormente se utilizaban para el vibrado a mano, pero montados sobre otro pequeño bulldozer con un puente con movimiento de elevación y descenso hidráulico, mandado por el conductor, sobre el que van montados cuatro o cinco de estos vibradores.

19

Cada una de las tongadas de hormigonado diario se descompone en varias capas de 50 a 60 cm. de espesor, que son a las que se les da el tratamiento que describimos.

Esta altura de las capas está precisamente limitada por la longitud del vibrador y, en consecuencia, porque pueda penetrar en toda la profundidad de la capa que se echa, e incluso que entre su punta en la capa inferior, para que ambas queden cosidas.

Este sistema lleva consigo el que los medios de puesta en obra tienen que ser tales que cuando se esté echando una determinada capa en un cierto punto, la capa inferior tiene que haber sido echada en un tiempo inferior al del comienzo del endurecimiento, a fin de que pueda hacerse este cosido sin perjudicar la calidad del hormigón.

Este tiempo varía con el clima y la clase de cemento entre las dos y las tres horas.

Los vibradores deben de estar proporcionados sobre todo a la dimensión máxima del árido y a la manejabilidad del hormigón, en la que también influye la naturaleza del árido, su forma si es machacado o rodado, si se emplea aireante, etc.

Teniendo en cuenta todos estos factores y la resistencia de los encofrados que se pretenda utilizar, la capacidad de los elementos de puesta en obra, la posible refrigeración artificial para la evacuación del calor de fraguado y, por la misma razón, el clima de la región, fijaremos la altura más conveniente de la tongada diaria. Altura que suele ser única en cualquier bloque o cota de la presa, salvo casos excepcionales.

Una vez que tenemos la presa dividida en bloques por sus correspondientes juntas y fijada la altura de tongada, es necesario cubicar cada una de estas tongadas de cada bloque, a fin de poder hacer el plan de hormigonado, ya que el ritmo que queremos determinar se expresa en volúmenes a realizar a lo largo del tiempo.

La forma práctica de presentar el plan de hormigonado se reduce a un alzado esquemático de la presa en el que se dibujan las juntas y las distintas tongadas, como puede verse en el dibujo, que corresponde a un caso sencillo de hormigonado de una presa cúpula.

En el caso de que existan zonas de la presa en las que haya juntas longitudinales, se repiten estas zonas, con sus correspondientes tongadas, en el mismo esquema.

A cada uno de los bloques resultantes de las juntas se les da una designación, que puede ser, por

ejemplo, el 0 al del centro y luego, números pares a un lado e impares al otro, o lo que se quiera.

A continuación se indica en la casilla así resultante de cada una de las tongadas de la presa, el volumen calculado. Y ya no nos queda más que consignar el día en que se prevé que se va a hormigonar cada una de las tongadas.

Para poder llegar a esto, vamos a ver los factores que influyen, a fin de poderlos tener en cuenta.

#### FRECUENCIA DEL HORMIGONADO DE TONGADAS SUCEASIVAS DEL MISMO BLOQUE.

Una vez terminada una tongada de un bloque, no puede comenarse a echar la siguiente, hasta que hayan pasado un número determinado de horas. Como es conocido, esto se debe a dar tiempo a la evacuación del calor de fraguado en evitación de tensiones internas elevadas que suelen tener gran importancia.

Como es natural, aquí también influye el clima de la región, y la posible refrigeración artificial de la presa. Normalmente se dejan setenta y dos horas entre el hormigonado de dos tongadas sucesivas.

#### FRECUENCIA DEL HORMIGONADO DE TONGADAS A LA MISMA COTA DE BLOQUES CONTIGUOS.

Por las mismas razones anteriores, a veces se establece la condición de dejar un determinado espacio de tiempo en estos hormigonados, cosa que también hay que tener presente en la confección del Plan de Hormigonado.

#### ESTACIONES DEL AÑO.

Otro factor que hay que tener en cuenta, es la existencia de las distintas estaciones del año. Es sabido que con temperaturas bajas no se puede hormigonar, si bien en ciertos casos es factible hacerlo hasta cierto punto empleando las adecuadas precauciones.

En todo caso, hay que prever, o una disminución de ritmo por este motivo, o una suspensión del hormigonado en las épocas del año en que se tenga conocimiento que se han de producir estas bajas temperaturas. En el caso de obras de alta montaña, como ocurre en los Alpes, no se hormigona más que durante siete meses al año.

También hay que tener presente las épocas de

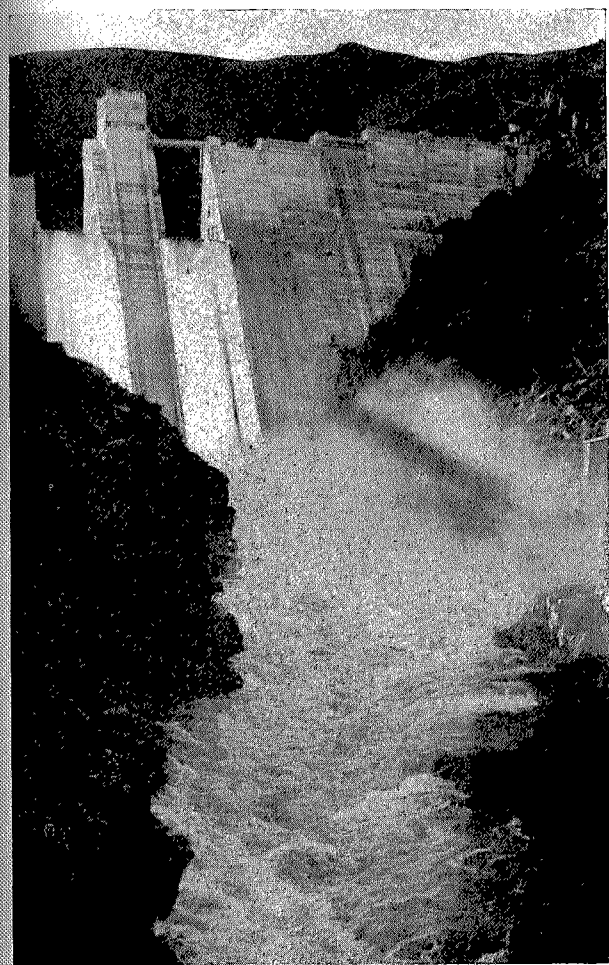


Figura 1.ª

muchas lluvias, ya que en ellas hay que prever una disminución del ritmo de hormigonado.

#### EVACUACIÓN DE AVENIDAS.

Asimismo hay que prever la existencia de riadas en ciertas épocas, a efecto de la disminución del ritmo y también para tener preparada la obra para que puedan ser evacuadas, bien a través del túnel de desviación, aunque casi nunca se suele dimensionar para las riadas máximas, o bien por los vertederos, o dejando bloques más bajos en la zona del centro del río, para evitar que pueda pasar el

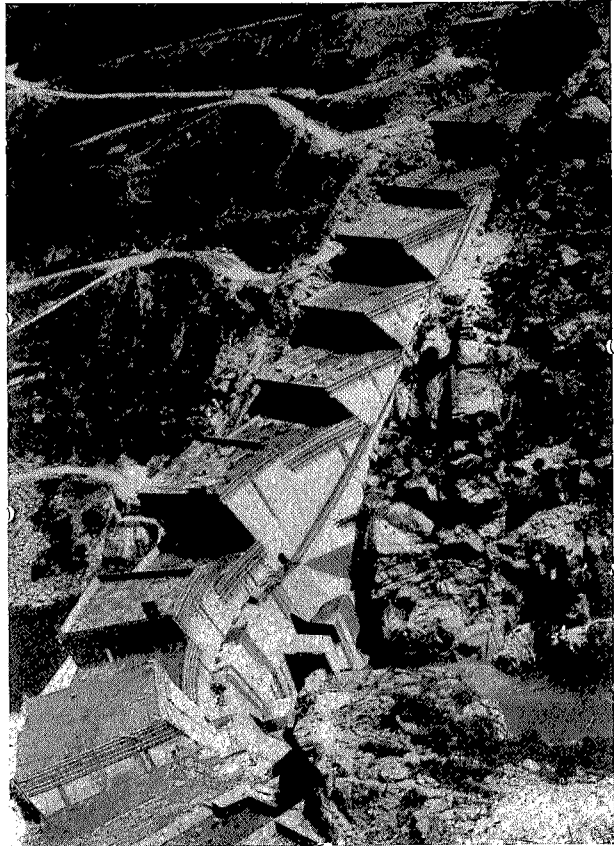


Figura 2.ª

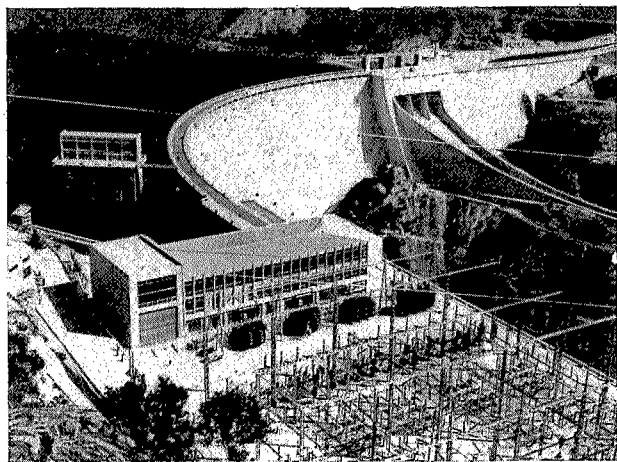


Figura 3.ª

- Fig. 1.ª — Presa de Bao evacuando una avenida por bloques dejados más bajos con este objeto.  
 Sketch No. 1. — Bao dam evacuating a flood by means of blocks left at a lower level for this purpose.
- Fig. 2.ª — Iniciación del hormigonado de la presa de Belesar.  
 Sketch No. 2. — Beginning to place concrete on Belesar dam.
- Fig. 3.ª — Presa de Belesar.  
 Sketch No. 3. — Belesar dam.

agua por la misma ladera, con el consiguiente peligro de que se lleve parte de la roca de los estribos, como ha ocurrido en alguna ocasión.

Para poder considerar cuantitativamente estos factores climáticos, lo conveniente, como es natural, es poder contar con una estadística lo más completa posible de una serie de años.

#### INFLUENCIA DE LA PENDIENTE DE LAS LADERAS.

Cuando esta pendiente es muy fuerte, y en particular cuando la roca de cimientos presenta diaclasas desfavorables que puedan representar un peligro de deslizamiento de los bloques de las laderas, se hace necesario prever el comienzo del hormigonado por los bloques más bajos del lecho del río, y luego, ir cimentando los inmediatamente superiores, de forma que se vayan apoyando en los inferiores.

En la fotografía de la cimentación de la presa de Belesar puede apreciarse el aspecto que toma la iniciación del hormigonado en este caso.

#### PELIGRO DE RÁPIDA METEORIZACIÓN DE LA ROCA DEL CIMIENTO.

En este caso puede ser aconsejable el rápido recubrimiento de toda la roca, y dejar cimentados todos los bloques lo antes posible, en vez de seguir otro tipo de Plan de Hormigonado.

#### NECESIDAD DE EMBALSES PARCIALES.

En ocasiones puede pretenderse usar la presa para conseguir embalses parciales antes de terminar su construcción y, en consecuencia, se necesita tener cerrada la presa a una determinada cota y fecha para emplearla con este fin, preparando al mismo tiempo la obra para el paso de las avenidas por encima de la presa o por un vertedero provisional.

#### MONTAJE DE TUBOS DE DESAGÜES DE FONDO O TOMAS.

Estos montajes hay que preverlos al confeccionar el Plan, puesto que suponen una parada en el hormigonado de la tongada correspondiente, ya que normalmente estos elementos están compuestos por varias piezas que es necesario colocar sobre soportes, nivelar y soldar.

#### LA ESTABILIDAD DE LOS BLOQUES AISLADOS.

A veces, un bloque aislado no es estable, como ocurre en algunas presas cúpulas, y entonces se hace preciso ir subiendo la presa de forma que los esfuerzos verticales que producen esta inestabilidad se descarguen en los estribos por la formación de arcos a través de los diferentes bloques.

#### ZONA DE FALLOS EN EL CIMIENTO.

Si se conoce la existencia de estas zonas por los reconocimientos realizados, hay que contar con una mayor dificultad en la cimentación de los bloques correspondientes y, por lo tanto, se debe prever un ritmo menor en la misma.

#### POTENCIA DE LA INSTALACIÓN DE HORMIGONADO.

La potencia de hormigonado de la instalación, como es natural, es importante para la confección del Plan de Hormigonado, y según los casos puede venir impuesta por tratarse de una instalación ya existente y que pretende reutilizarse, o bien hay que determinarla de acuerdo con las posibilidades que presenta la presa, en relación con los factores hasta ahora apuntados, y con el plazo que se desee.

Como regla general, el plazo y la potencia de la instalación hay que determinarlos por aproximaciones sucesivas. Es decir, partir de una potencia de la instalación y hacer un Plan de Hormigonado; entonces ver si es posible por las condiciones de número de bloques, altura de la tongada, frecuencia de hormigonado de las tongadas sucesivas, etc.

En el caso de que convenga forzar más el ritmo y se haya comprobado que la presa admite el anterior con amplitud, se rehace el plan partiendo de una instalación más potente, hasta que lleguemos a la solución más conveniente.

Para poder hacer estos tanteos es necesario fijar la potencia o capacidad de la instalación en las distintas condiciones o fases que puede presentar la obra, para lo cual el dato básico es el del *rendimiento práctico alcanzable en un mes punta*, es decir, en las mejores condiciones que puede ofrecer la presa, con la mayor parte de los bloques cimentados, hormigonando en zona con suficiente número de bloques disponibles con un espesor grande, y sin que coarte el invierno con lluvias, riadas o heladas.

Este es el dato básico para la confección del

Plan de Hormigonado. Naturalmente, para llegar a él hay que comenzar por conocer el rendimiento punta horario y luego el diario, sobre los que se van aplicando los coeficientes experimentales o calculados, o una combinación de ambos.

La fijación de la potencia horaria de la instalación ha de hacerse estudiando el rendimiento posible de los distintos elementos principales de la misma, y que normalmente son: Fuente de aprovisionamiento de áridos (cantera o gravera); transporte de los áridos; tren de machaqueo y clasificación de los áridos; suministro de cemento; abastecimiento de agua; estación de dosificación y fabricación del hormigonado; puesta en obra (blondines, grúas); sistema de extensión y vibrado del hormigón (mecánico o a mano, según las dimensiones de los bloques), y sistema de encofrados.

Como es natural, los rendimientos de todos estos elementos tienen que ser acordes, es decir, adecuados a dar en conjunto un rendimiento determinado, sin que existan puntos de estricción o de una capacidad excesiva.

Por regla general, lo más económico es hormigonar lo más rápido posible, ya que ello reduce los gastos generales de la obra, pero a veces, y cuando las condiciones óptimas de hormigonado que antes hemos descrito pueden darse sólo en un período de tiempo muy reducido (por ejemplo, por ser la presa pequeña) puede no ser interesante hacer un montaje de la instalación para la mayor velocidad, y de esta forma ampliar el período de aprovechamiento de la instalación a su máximo rendimiento.

Teniendo todo esto en cuenta, debe de fijarse el rendimiento práctico alcanzable en un mes punta para el conjunto de la instalación.

#### CALENDARIO MENSUAL.

Con este dato se forma un calendario por mes, partiendo de la fecha en que se prevea comenzar el hormigonado, consignando en cada uno el volumen de hormigón que aproximadamente se va a echar.

En la figura puede verse este calendario, realizado para el ejemplo simple de presa cúpula que presentamos.

En este calendario hay que tener en cuenta:

1.º Que en todo hormigonado se comienza con un rendimiento bajo y creciente con el tiempo, hasta que se alcanza la marcha de régimen, y que al final puede ocurrir algo parecido en orden inverso.

Ello es debido, en el principio, a que la instala-

ción está poniéndose a punto, el personal está acostumbrándose a sus funciones, los bloques están en cimientos y tienen una superficie reducida y posiblemente difícil de llegar a ellos con el medio de puesta en obra, por haber obstáculos de encofrados, las laderas, etc. En el final, la reducción de rendimiento, que puede ser inferior a la del comienzo, está impuesta generalmente por el poco espesor de los bloques de la coronación.

En consecuencia, normalmente, la gráfica de volúmenes acumulados del hormigonado, en relación con el tiempo, tiene la clásica forma de S, que puede verse en la citada figura.

Por lo tanto, en estos meses de comienzo y final de hormigonado, hay que contar con rendimientos reducidos, en relación con la base y crecientes o decrecientes. Estas reducciones las da la experiencia de casos similares y las condiciones especiales de la obra.

2.º Naturalmente, hay que aprovechar el rendimiento base máximo alcanzable en todos los meses en que no existan inconvenientes.

3.º Hay que prever una reducción del rendimiento base en los períodos de invierno, por lluvias, heladas, riadas, etc., como hemos indicado anteriormente.

Siguiendo esta marcha, tendremos el calendario de hormigonado mensual previsible, en primera aproximación.

#### PLAN DE HORMIGONADO DIARIO.

De este calendario hemos de pasar al Plan de Hormigonado diario, también por tanteos sucesivos, y teniendo en cuenta todos los factores antes indicados, en cuanto a orden en que tienen que cimentarse los bloques, frecuencia de hormigonado en un mismo bloque, portillos a dejar para la evacuación de las riadas, colocación de desagües de fondo, etc.

Así se va apuntando en la casilla de cada toncada el día de hormigonado, de forma que la suma de los volúmenes correspondientes a un mismo día corresponda a la media de hormigonado en el mes que sea, de acuerdo con lo estimado en el calendario mensual, y, por lo tanto, que la suma de todos los volúmenes de un mismo mes sea aproximadamente aquel volumen.

Este es un trabajo bastante pesado, pero quien lo ha hecho varias veces tiene costumbre y lo hace con facilidad.

Por otra parte, entendemos que este sistema es básico para poder hacer el resto del proyecto del hormigonado y ver si la instalación elegida es la adecuada; ya que de esta forma comprobamos la capacidad de absorción que realmente tiene la presa, pues a ojo podemos equivocarnos y pensar que

le parece mucho en volúmenes y plazo total, y que es muy útil para el estudio del hormigonado, necesidades de encofrado y desarrollo de la obra.

Como referencia, podemos indicar que hemos podido comprobar el buen resultado de esta forma de sistematizar el estudio del Plan de Hormigonado

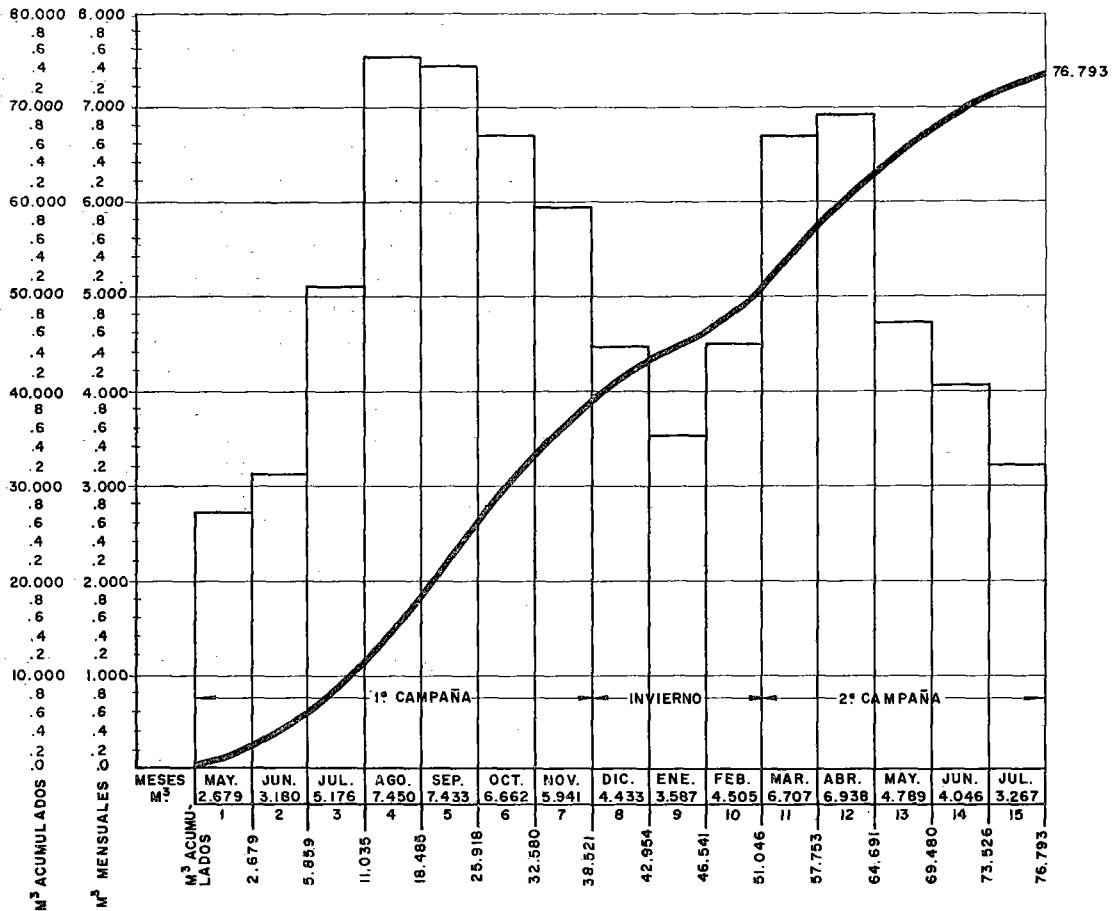


Figura 4.ª

se puede ir más de prisa y encontrarnos luego con que hemos hecho un montaje excesivo, lo que resultará antieconómico.

Es aconsejable no absorber totalmente las posibilidades de hormigonado de la presa, ya que siempre aparecen luego inconvenientes imprevistos que la disminuyen, por ejemplo, fallas en el terreno que impiden cimentar un bloque, modificaciones en el proyecto de aliviaderos, etc.

Como es natural, nunca se hormigonará la presa exactamente según el Plan de Hormigonado así confeccionado, pero nuestra experiencia es que se

en la ejecución de las presas de San Esteban, Chandreja, Estrecho de Peñarroya, Eume, Belesar y Bao, y en las actualmente en ejecución de Susqueda, La Barca, Velle y Castrelo.

Ejemplo más concreto de los resultados del sistema, es el calendario mensual de la Presa de Bao, que figura en el artículo que publicamos en esta misma Revista, con motivo del Congreso de Roma, en el que puede apreciarse la similitud de los volúmenes ejecutados realmente en los distintos meses y los previstos en el Plan antes de comenzar la obra.

Fig. 4.ª — Calendario mensual de hormigonado.  
Sketch No. 4. — Placing monthly program.