

ción de los anchos de vía». Con asimismo de tan preclaros militares y otros muchos no menos dignos, el Congreso Nacional de Ferrocarriles adoptó esta conclusión: «En cuanto los medios económicos lo consientan, sería conveniente salvar el aislamiento de nuestra red debido a su galga especial, sea de un modo absoluto si cupiera disponerse por el Estado de los cuantiosos recursos necesarios para ello, estrechando, al efecto, la totalidad de la misma con su material móvil al ancho normal continental, sea adoptando los vagones extensibles si fueran prácticos».

*Razones de índole internacional y política.*—Pederosas habrán sido las del Gobierno que ha acordado que se construyera con vía europea el ferrocarril directo a Algeciras con aplauso de la mayoría del país que ha visto se le va a redimir del pecado de los que no supieron ser previsores. España sabe que cuantas veces se ha separado de los acuerdos internacionales, ha tenido que corregir su error tarde y con daño, y si hoy el ferroviario es poco costoso enmendarlo, dada la mezquindad de nuestra red, será lamentable tener que hacerlo cuando haya muchos más kilómetros.

El Gobierno, consciente de las ventajas que proporciona a España su magnífica situación geográfica, no ha querido verlas malogradas y evitará sin duda alguna que por sistemática y rutinaria persistencia en el error, ora se desvíe el tráfico por otras corrientes que le alejen de España, ora que se intente considerar a ésta como un obstáculo a la civilización opuesto a la continuidad imprescindible del tráfico intercontinental.

Se ha empleado como argumento el de que la construcción del ferrocarril directo a Algeciras constituiría la mediatización del patrio hogar, pero el razonamiento es a la inversa. Para alejar todo pretexto de mediatización es preciso que nuestro país, por su propio interés y beneficio, deje de ser un obstáculo a las comunicaciones internacionales, de igual modo que jamás podrá expropiarse por motivos sanitarios un prelio modelo de salubridad.

Yo, por el contrario, anhelo ver que de Irun, Canfranc Salau, Puigcerdá y Portbou, por un ferrocarril lo más directo posible hacia el Estrecho que desparrame por toda la Iberia la civilización mundial y sus productos.

Hoy que los genios francés, americano y alemán han enlazado mares mediante canales recorridos por los más grandiosos bajelos, no debe España impedir que el tráfico euro-americano obligue a fertilizar nuestro suelo y a confundir amorosamente su comercio con el de nuestra patria.

## El empleo del hormigón en las grandes presas

POA

A. W. K. BILLINGS

Memoria presentada al Congreso Nacional de Ingeniería celebrado en Madrid en noviembre de 1919.

### CAPÍTULO PRIMERO

#### Conveniencia de fomentar la construcción de las grandes presas.

La posibilidad de construir, con suficientes garantías de seguridad, las presas llamadas de gran altura, está cada día más reconocida, como consecuencia de las enseñanzas de la práctica adquirida en la construcción de estas ya numerosas obras; enseñanzas que hacen que la confianza en los resultados de la obra sea completa.

La conveniencia de estas construcciones resalta con sólo observar su beneficiosa influencia en el aspecto económico de los riegos y de los aprovechamientos industriales.

a) RIEGOS.—Es evidente la enorme ventaja que, tanto para los regantes como para los intereses generales del país, resulta de la construcción de las grandes presas y de la utilización racional de los volúmenes de agua que aquéllas embalsan, pues todo ello permite guardar el agua sobrante de las avenidas y deshielos para utilizarla durante los estiajes, asegurando así las cosechas y facilitando la ampliación de los riegos.

b) APROVECHAMIENTOS INDUSTRIALES.—Asimismo es muy importante la mejora que a los aprovechamientos industriales reporta la construcción de grandes embalses. En efecto: en la construcción de saltos de agua pueden seguirse los siguientes criterios:

1) La capacidad de las obras e instalaciones no excede al estiaje más pronunciado de los observados en una larga serie de años; es decir, se prescinde del exceso de caudal que sobre aquel mínimo lleva el río en otras épocas del año.

2) La capacidad de referencia corresponde a un caudal mayor que el del estiaje más pronunciado; pero sometiendo la explotación a las variaciones del régimen del río en las diversas épocas del año; es decir, reduciendo la producción de fuerza durante los estiajes.

3) La capacidad de referencia se proyecta como en el caso anterior 2), pero se tiende a una producción uniforme a base de ese régimen mayor que el de estiaje, compensando la deficiencia de éste mediante la aportación de energía procedente de otros saltos situados en cuencas de distinto régimen del que se trata.

4) La compensación del déficit de estiaje se puede proyectar por la construcción y enlace eléctrico de centrales térmicas de capacidad correspondiente, o en los centros de los mercados consumidores de fuerza o en las cuencas hulleras, donde hay grandes disponibilidades de carbón de mala clase que no vale el transporte.

5) La capacidad de las obras e instalaciones se proyecta tomando como base el caudal medio anual del río, transformando el régimen desigual de este último en otro uniforme, mediante su regularización conseguida por un embalse adecuado, alimentando con preferencia una serie escalonada de saltos.

6) Los casos 3), 4) y 5) pueden combinarse de distintas formas.

La solución 1) resultaría costosa y no es aceptable, porque supone un aprovechamiento mínimo de la potencia hidráulica del río, con una pérdida muy importante de la riqueza nacional.

La solución 2) es también muy defectuosa, pues la falta de uniformidad en el suministro de fuerza crearía grandes dificultades a las industrias servidas, que no podrían establecerse para esa desigualdad en el trabajo, teniendo en cuenta la desproporción que existe entre la importancia del coste de la fuerza motriz, por una parte, y la que integran la mano de obra y los gastos fijos que existen en toda industria, por la otra. Casi no existen más industrias que algunas de las electro-químicas, que se escapan de las consecuencias de esa desproporción.

La solución 3), o sea el enlace de los saltos con otros de distinta cuenca, reporta ventajas innegables; pero aparte del inconveniente de que en años de gran sequía, como fué, por ejemplo, el del 1912-13, la falta de agua se deja sentir durante largo período de tiempo en todas las cuencas de la Península, tiene esta solución un defecto *fundamental*, que es el de no aprovechar un gran caudal sobrante que en ciertas épocas corre inútilmente por el río, y que sólo puede ser aprovechado almacenándolo en grandes embalses.

La solución 4), o sea el enlace de los saltos con las centrales térmicas, también reporta grandes ventajas en la práctica. Aunque el coste de la energía producida por el vapor parece excesivo,

sobre todo con los precios actuales del carbón, resulta económico debido a la desproporción tan grande entre la potencia disponible durante el estiaje más pronunciado y la media del río, y al hecho de que estas sequías tan pronunciadas se repiten a intervalos de seis a diez años solamente.

Una central térmica puede suministrar fuerza: a) en caso de interrupciones en la red de transmisión; b) para llevar parte del máximo de la carga cuando el factor de utilización de la potencia hidráulica resulte de otro modo demasiado bajo; c) para suplir la deficiencia de la fuerza hidráulica durante los estiajes de los años excepcionales o de cada año, y d) para facilitar el desarrollo del mercado mientras se construya una instalación hidroeléctrica y preparar una carga más completa para esta última desde el principio de su explotación.

Para los servicios más importantes conviene emplazar las centrales térmicas en las grandes ciudades o centros de consumo de fuerza, en cuyo caso sirven también para mejorar el factor de utilización de las líneas de transporte, que afecta tanto el coste total de la fuerza. Para las otras funciones mencionadas resulta más económico construir dichas centrales térmicas en bocamina.

La solución 5), o sea la construcción de grandes embalses, resulta de una importancia económica muy grande, ya sea separada o combinada con las otras soluciones. La regularización consiguiente del caudal disponible aumenta el factor de utilización de toda la instalación hidráulica y eléctrica, y, por consiguiente, reduce la potencia necesaria de las instalaciones térmicas y el tiempo de empleo de las mismas; así resulta una disminución notable en los gastos fijos y en el coste de la energía suministrada.

Un detenido estudio de los datos hidrográficos y de la explotación de grandes saltos demuestra que los mejores resultados económicos se obtendrían combinando la construcción de grandes embalses en distintas cuencas con centrales térmicas de potencia suficiente para los años excepcionales. Datos fidedignos de algunas de las cuencas más importantes de España indican que los estiajes de verano en las partes bajas, y de invierno en las partes altas de los ríos, descienden ordinariamente al 30 y 35 por 100 del promedio anual, y en un año excepcionalmente seco y frío al 23 y 19 por 100, respectivamente. La construcción de embalses de capacidad suficiente para la completa regularización del caudal, aumentaría el caudal disponible en años normales y excepcionales al 100 y 72 por 100, respectivamente. En la práctica, con embalses algo más pequeños, estas cifras resultan cerca del 75 y 50 por 100. Así se puede apreciar que la construcción de grandes embalses, aunque cara en valor absoluto, resulta económica en relación con las ventajas que reporta en la práctica. Para obtener el máximo de provecho de la obra debe elegirse cuidadosamente su emplazamiento, y ajustar la extensión de la cuenca regularizadora a la importancia de los saltos y riegos que se trate de servir.

Es innegable la importancia que para los intereses generales de la Nación tiene la regularización del régimen de los ríos, y como primera conclusión que se deduce de las consideraciones expuestas, diremos que el Gobierno debe fomentar por todos los medios posibles la construcción de grandes embalses, cosa que no ha hecho hasta ahora en el terreno práctico.

## CAPÍTULO II

### Ventajas del empleo del hormigón en la construcción de grandes presas

A) ENUMERACIÓN DE LAS VENTAJAS.—El empleo de hormigón en la construcción de presas de gran altura se recomienda:

Primero. Por el conocimiento, hoy día más exacto, de los

principios en que debe basarse y los procedimientos que deben seguirse para la fabricación del hormigón.

Segundo. Por la calidad superior del hormigón fabricado con arreglo a esos principios y procedimientos.

Tercero. Por la posibilidad que dan esas circunstancias de poder elegir un perfil económico y seguro, pues aquéllas permiten variar la resistencia del hormigón según los esfuerzos que ha de soportar, sin que esa variabilidad haga que empeoren otras cualidades importantes del material.

Cuarto. Porque permite el empleo de maquinaria en gran escala, compensando la elevación que, desde la guerra europea, ha experimentado la mano de obra.

El empleo de esa maquinaria hace posible la reducción del número de obreros, permitiendo el mejoramiento de las condiciones sociales de éstos, disminuyendo las causas de huelgas, etc.

Quinto. Por la mayor rapidez obtenida en la construcción de la obra y el valor material de esta rapidez desde el punto de vista de la riqueza que se crea al poner en explotación la obra. Así, en los riegos, la rapidez produce un aumento inmediato de prosperidad y adelanta los ingresos del Estado; en los saltos, cada año de adelanto en la puesta en marcha de una Central supone una riqueza que se mide por el valor del carbón economizado y porque representa el desarrollo de las industrias que utilizan la fuerza producida.

B) AMPLIACIÓN DE LAS CONSIDERACIONES ANTERIORES.—Las ventajas concretadas en los dos primeros apartados que preceden se derivan de extremos relacionados con los procedimientos especiales que deben emplearse en la fabricación y con la superior calidad de los hormigones así obtenidos.

Como quiera que uno de los objetos principales de esta Memoria es explicar y preconizar estos procedimientos y sus resultados, se dedica especialmente a aquel objeto el capítulo III. Pero antes de pasar a dicho capítulo consideremos ligeramente las otras ventajas indicadas.

a) ELECCIÓN DE UN PERFIL ECONÓMICO Y SEGURO.—Los esfuerzos de las presas de gran altura nunca han sido comprobados, y por este motivo el cálculo de las mismas es objeto de muchos y diversos criterios. Es preciso hacer hipótesis bastante forzadas sobre la elasticidad y homogeneidad de los cimientos y estribos del emplazamiento y de la misma obra, dejando en duda de este modo la verdadera distribución de los esfuerzos entre sí. Casi nunca se tienen en cuenta las contracciones (o expansiones) debidas al fraguado y a las variaciones de humedad o de la temperatura de la fábrica.

En la teoría más generalmente admitida, se supone que en un punto de un cuerpo sólido, trabajando elásticamente, existen dos direcciones principales, según las cuales la tendencia al deslizamiento es nula. Estas dos direcciones son perpendiculares entre sí, y existen también otras dos direcciones, también perpendiculares entre sí, de componente tangencial máxima y mínima, a 45° con las anteriores. A las dos primeras corresponden los esfuerzos máximos y mínimos, que pueden ser ambos de tracción, ambos de compresión o uno de tracción y otro de compresión. Generalmente, en el cálculo de las presas se consideran trozos de macizo comprendidos entre hiladas horizontales, y se calculan los esfuerzos normal y tangencial a estos planos, que no son los principales puesto que existe un esfuerzo cortante.

Lewy, por el contrario, obtiene el «máximo maximorum» que a embalse lleno corresponde al paramento de aguas abajo, y a embalse vacío el de aguas arriba. Además, de no admitir tensiones en alguna parte de la fábrica, prescribe que la presión estática en el paramento de aguas arriba sea superior a la hidrostática. Por este motivo las secciones transversales de las presas en

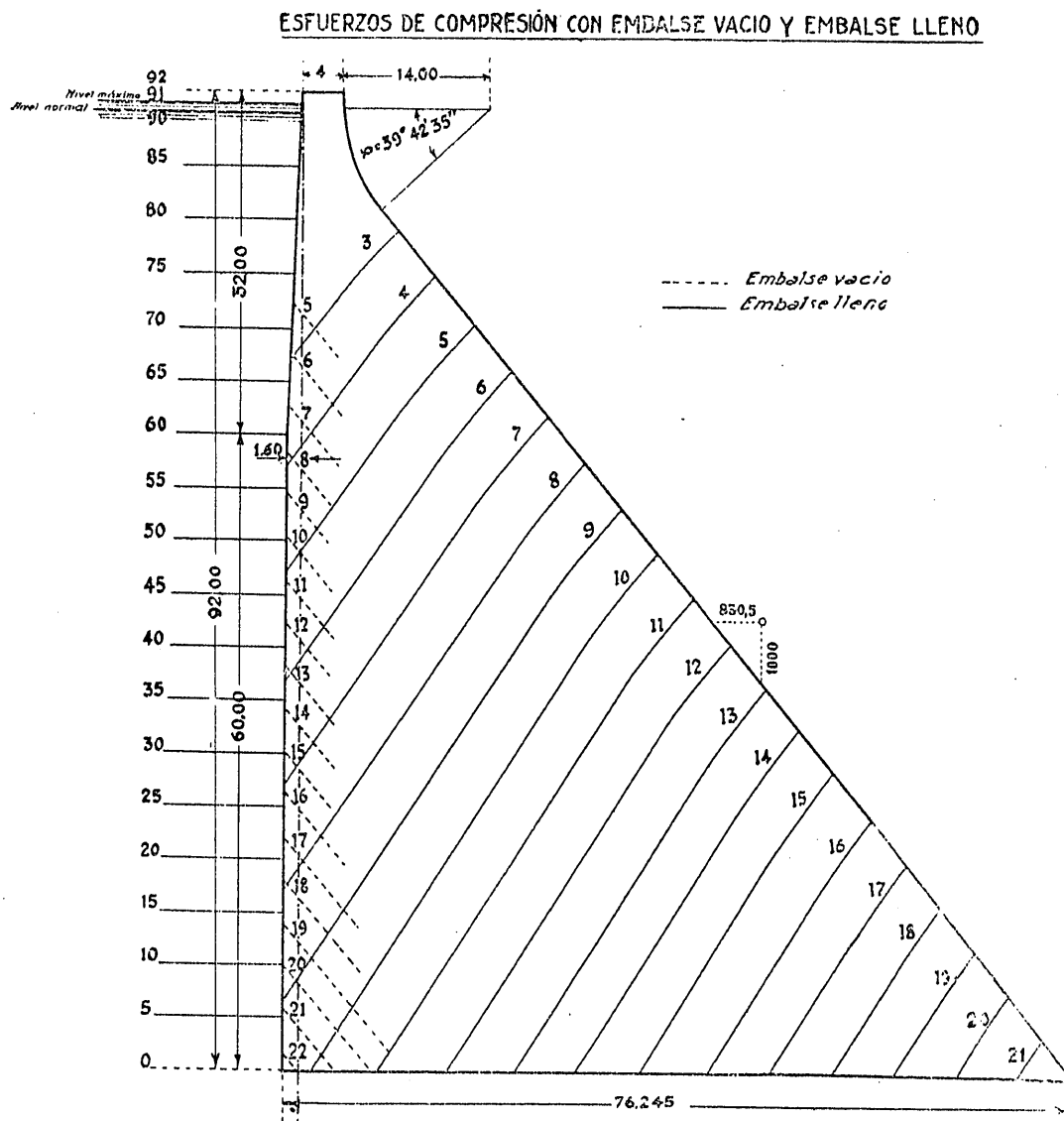
que se acepta esta última prescripción, exceden en cerca de 25 por 100 a las que se han empleado en países donde no se exige esto.

No obstante, en Francia y en España se adopta en general la teoría de Levy, quizás porque, en comparación con otras teorías, exige un mayor cubo de obra de fábrica y encierra así un coeficiente de seguridad mayor, aunque desconocido con exactitud. En esta teoría, las hipótesis referentes a la distribución de los esfuerzos son algo forzadas y no representan fielmente la verdadera distribución en el caso ordinario de presas cortas; no tomando en consideración la actuación de la presa como bóveda, ni la transmisión en otra forma de los esfuerzos a los estribos. La teo-

tos y las laderas, que la construcción y estabilidad de la presa misma. Las pérdidas de agua por filtración pueden tener una gran importancia económica, aunque no afecten en lo más mínimo a la estabilidad y solidez de la obra.

Por los motivos indicados es conveniente que se aprovechen todas las economías en la construcción, muy especialmente cuando la presa está calculada según la teoría de Levy, pues de otro modo podrían invertirse inútilmente importantes sumas. En las condiciones económicas actuales es un deber, y hasta una necesidad, estudiar semejantes economías, sobre todo cuando al mismo tiempo puede aumentar el coeficiente de seguridad de la obra.

Fig. 1



ría supone siempre que los empujes en una lámina delgada, limitada por superficies verticales, paralelas o radiales, se transmiten íntegramente a la superficie del cemento comprendida entre dichas superficies verticales sin que llegue esfuerzo alguno a los estribos, y esta hipótesis u omisión ocasiona un aumento de espesor. Así resulta que en otros países los Gobiernos mismos construyen con todo éxito presas como las de Arrowrock (107 metros de altura, terminada en 1915); Elephant Butte (82 metros de altura, terminada en 1916); Roosevelt y muchas otras con el 80 por 100 del cubo de obra de fábrica, con relación a lo exigido por las prescripciones de Levy.

En general, en las presas de gran altura es mucho más difícil el asegurar la impermeabilidad y saneamiento de los cimien-

Tratándose de una presa alta calculada por el procedimiento de Levy, los medios de obtener economías son:

*Primero.* Hacer, antes de la presentación del proyecto definitivo, pruebas o ensayos completos que demuestren las calidades de los materiales disponibles, y del hormigón o mampostería fabricados con los mismos; y

*Segundo.* Fijar un valor del coeficiente de seguridad para durante la construcción, cuando el embalse esté vacío, y otro valor más alto y uniforme para después del período de construcción, cuando el embalse esté lleno.

Deben también considerarse los esfuerzos debidos a las variaciones de temperatura y a la desecación del hormigón cerca de los paramentos, así como los correspondientes a las presiones hi-

drostáticas debajo y dentro de la fábrica. Pueden conseguirse economías de importancia aprovechando el aumento de la densidad obtenida por el aumento del tamaño máximo de la piedra machacada, por la disminución del agua empleada al minimum factible en la práctica, y por el empleo de la proporción máxima de bloques de piedra embutidos en el hormigón.

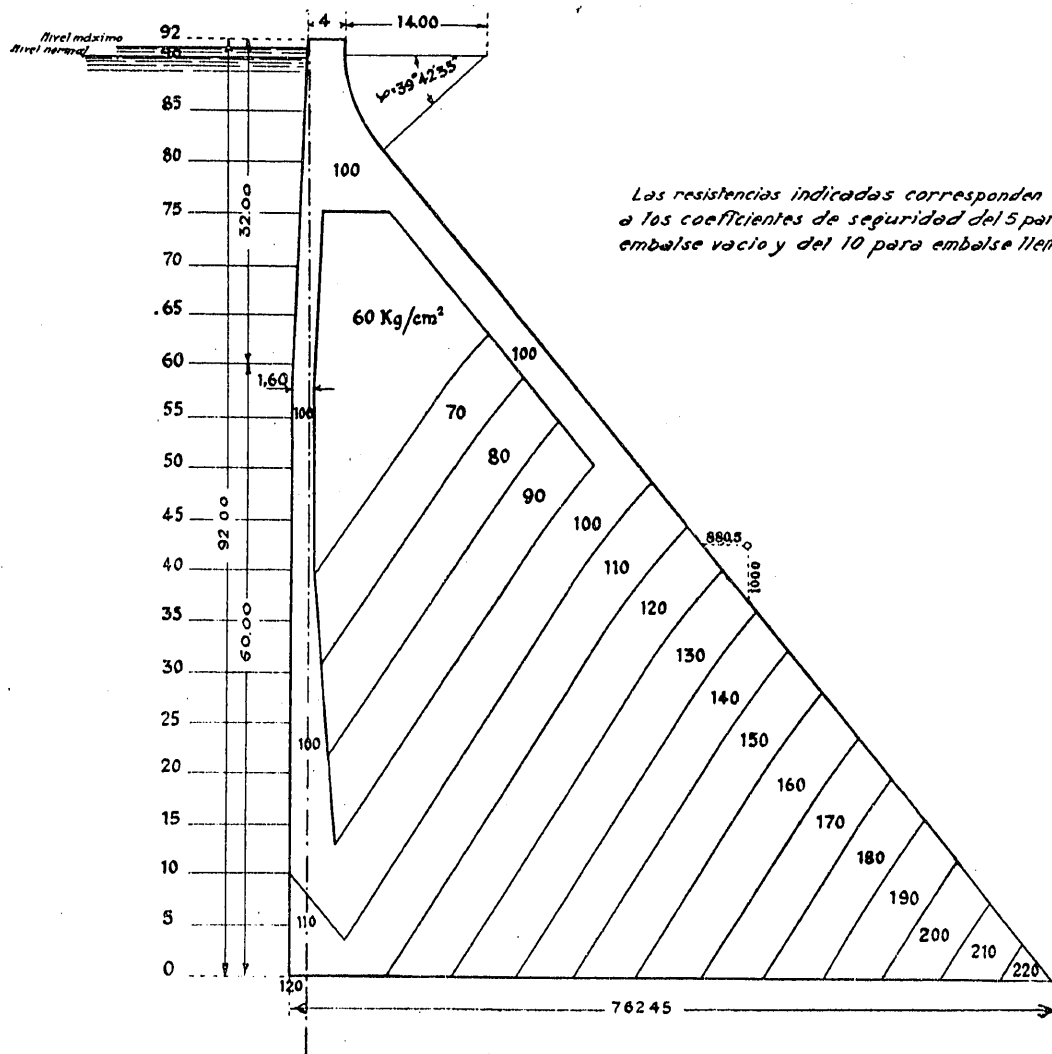
El dibujo (fig. 1.<sup>a</sup>) muestra para una presa de 90 metros, calculada por el procedimiento de Levy, los esfuerzos correspondientes al embalse vacío y al embalse lleno. Durante el período del hormigonado, que en todo caso dura más de un año, estando el embalse casi vacío, el coeficiente de seguridad admitido puede muy bien ser menor que el fijado para después que esté

arriba se fijan por el coeficiente adoptado para embalse vacío. En el caso de emplearse un coeficiente para embalse lleno de 11,70 o más, las resistencias necesarias de la fábrica cerca del paramento de aguas arriba, así como de todo el resto de la obra, dependen solamente de los esfuerzos correspondientes al embalse lleno.

Si se emplea un coeficiente de seguridad uniforme en toda la obra, el hormigón en la parte superior de la presa, aunque bastante resistente a la compresión, sería demasiado árido para resistir indefinidamente los efectos de la intemperie, las variaciones de temperatura, esfuerzos locales, etc. Estos esfuerzos deben tomarse en cuenta solamente cerca de los paramentos. La contracción, debida al enfriamiento lento de la fábrica, desde la temperatura

Fig. 2

VARIACION DE LA RESISTENCIA PARA COEFICIENTE DE SEGURIDAD UNIFORME



lleno. Si la fabricación del hormigón se lleva a cabo con toda exactitud, según los procedimientos más perfeccionados, basta un coeficiente de 4 a 5, porque no pueden existir más esfuerzos que el peso del hormigón ya colocado, y la contracción muy pequeña que resulta del enfriamiento lento de la masa después del fraguado. Así hemos escogido en la figura 2.<sup>a</sup> el valor de 5 para el coeficiente con embalse vacío. Más adelante, cuando el embalse esté lleno, los esfuerzos serán de más importancia: y el coeficiente debe ser más alto que durante la construcción. Se ha adoptado el coeficiente de 10 para la figura 2.<sup>a</sup>, considerando esta cifra como amplia para tal estructura. Con esta proporción de 1 : 2 entre los coeficientes para embalse vacío y para embalse

lleno, las resistencias necesarias cerca del paramento de aguas del fraguado hasta la temperatura media anual, es el único de tales esfuerzos que puede afectar al interior de la fábrica. Por este motivo es conveniente adoptar, en la parte superior de la presa, una resistencia o dosificación mínima, para el interior, y otra, algo mayor, para los paramentos. En la práctica, en aquellas partes donde los esfuerzos a la comprensión son pequeños, las mezclas con dosificación de cemento correspondientes a 60 kilogramos por centímetro cuadrado y 100 kilogramos por centímetro cuadrado, respectivamente, poseen sobradamente la impermeabilidad y resistencia a las otras influencias antedichas. Por tal motivo se han adoptado estas resistencias en la figura 2.<sup>a</sup> Debe tenerse presente que cuando se trata de hormigón fabricado por procedimientos modernos, con materiales dosificados por tama-

ños, la impermeabilidad, etc., son casi independientes de la resistencia a la comprensión y no sufren disminución progresiva con aquélla, como ocurre cuando se trata de hormigones en los que se emplea la arena natural.

Una presa de gran altura, aun cuando se llevasen a cabo los trabajos con toda rapidez, no se puede construir en menos de un año. Así, pues, los coeficientes indicados deben referirse a las resistencias a la comprensión al año de fabricado el hormigón, como *mínimum*. Hasta ahora, en los pliegos de condiciones se ha fijado el período de tres meses, quizás por ser más corriente, y para evitar la demora que significaría el tener que esperar a los resultados obtenidos un año para las pruebas hechas, después de publicada la concesión. Por este motivo es muy necesario que las calidades del hormigón consten oficialmente por medio de una serie completa de pruebas previas comenzadas, cuando menos, un año antes de la fecha en que hayan de determinarse las dosificaciones en las distintas partes de la obra.

Un estudio detenido de casi todas las pruebas a la comprensión de largo período y publicadas hasta la fecha, demuestra que para un hormigón determinado, la resistencia aumenta en una cantidad constante, cada vez que el tiempo se duplica. Así, si estos períodos se señalan como abscisas medidas en una escala logarítmica, las ordenadas que representan resistencias dibujan una recta, siendo generalmente la resistencia a los seis meses de un 10 por 100 a 15 por 100 mayor que la de tres meses, con iguales aumentos al año, dos años, cuatro años, etc., etc.

Los cubos de ensayos, fabricados con hormigón, para las pruebas oficiales deben conservarse en el agua a una temperatura uniforme, hasta el momento de la rotura. De otro modo, la desecación produciría un efecto variable en la resistencia. Esta temperatura debe ser de 20° C. o preferiblemente mayor, porque el promedio de la temperatura de la fábrica durante el primer año es siempre más elevada. Aun con las dosificaciones empleadas con estos procedimientos, la temperatura del fraguado es de 15 a 30° más elevada que la inicial; el enfriamiento siguiente es muy lento, tardándose muchos meses hasta que dicha temperatura llegue al promedio anual permanente. Las observaciones hechas en varias presas altas demuestran que las variaciones *diurnas* penetran pocos centímetros. Las variaciones a los 20 centímetros de profundidad se reducen, aproximadamente, al 4 por 100 de las atmosféricas exteriores. Las variaciones *anuales* penetran más, variando en razón inversa a la raíz cúbica de la profundidad, medida desde el paramento. Es decir, si la variación anual es de 40° C., a la profundidad de un metro queda reducida a 10° C., y para el promedio de una masa grande resulta menor de 8° C.

Si el coeficiente de seguridad acusa un cierto valor a la terminación del período de construcción con el embalse vacío, dicho coeficiente habrá tenido otro valor mayor en todas las fechas anteriores, o sea durante la construcción. Esto resulta palpable y lógico en vista de las siguientes consideraciones: En la mayoría de los casos, la extensión superficial de las secciones horizontales de la presa es bastante uniforme, disminuyendo solamente cerca del cimientado y de la coronación. Al principio, la marcha del hormigonado es también sensiblemente uniforme, siendo algo menor el volumen fabricado al empezar los cimientados, y cerca de la coronación. De aquí resulta que el aumento de altura y, por consiguiente, de presión sobre el hormigón, con el tiempo es asimismo bastante uniforme. Como la resistencia aumenta más rápidamente al principio, y más lentamente después, según la ley de variación mencionada, el valor del coeficiente resulta aún mayor en los períodos iniciales del levantamiento de la presa. Por este motivo, no hace falta examinar con detenimiento las variaciones del coeficiente durante la construcción, por ser

siempre mayor que el valor que tiene al llegar a la coronación.

Los ensayos de laboratorio indican también que la permeabilidad de un cubo de hormigón es inversamente proporcional al espesor. Así resulta que el hormigón, en todas las partes de una presa de perfil triangular, debe tener una permeabilidad uniforme y, desde luego, lo más insignificante posible. Todo hormigón es permeable cuando se expone por primera vez a la presión del agua; pero la filtración disminuye en pocas semanas a una cifra insignificante, en proporción a la evaporación que se produce desde el paramento de aguas abajo, y que es sensible aun en invierno.

El valor del coeficiente de seguridad para una presa determinada debe adoptarse después de haber hecho un estudio detenido del emplazamiento de ésta y de su cuenca de aguas abajo; del grado de confianza que debe depositarse en las pruebas del hormigón, de la exactitud de dosificación de tamaños y medición de los componentes, y de los méritos y uniformidad de los procedimientos empleados. La ventaja de emplear el hormigón con dosificaciones graduadas consiste en que se puede obtener un coeficiente de seguridad uniforme y bastante alto, consiguiéndose de este modo economías de importancia. Por ejemplo, en presas como la de Talarn (84 metros de altura, 275.000 metros cúbicos de volumen, terminada en 1916), y la de Camarasa (90 metros de altura, 215.000 metros cúbicos de volumen, que debe quedar terminada el año próximo), situadas en la provincia de Lérida, las concesiones exigen una *resistencia* uniforme de 150 kilogramos por centímetro cuadrado a los tres meses. Esto corresponde en los dos casos a los coeficientes de seguridad 8,4 y 7,8, respectivamente, al año.

Por el sistema descrito en esta Memoria, se puede conseguir un *coeficiente de seguridad* uniforme del 10 al año en toda la obra, con el embalse lleno, al mismo tiempo que se obtiene en una empresa de tal magnitud una economía de más de un millón de pesetas sobre el caso de *resistencia* uniforme.

b) **CONSECUENCIA DEL EMPLEO DE MAQUINARIA EN GRAN ESCALA.** — Hay que tener en cuenta que el coste de la mano de obra en España era relativamente barato antes de la guerra; pero hoy día ha sufrido un aumento de más del 100 por 100. Al mismo tiempo el número de braceros disponibles está bastante reducido a causa de la emigración, muy particularmente a Francia: resulta, pues, que de seguir con los procedimientos que se emplearon con éxito en años anteriores, que exigen mayor cantidad de mano de obra, los trabajos sufrirán retraso y, en definitiva, resultarán más costosos que empleando maquinaria en cuanto sea posible, como se hacía corrientemente en los países nuevos antes de la guerra.

c) **MAYOR RAPIDEZ OBTENIDA EN LA CONSTRUCCIÓN.** — Con la instalación de maquinaria se consigue mayor rapidez, sin aumento importante en el coste. Para fabricar de 1.000 a 2.000 metros cúbicos de hormigón al día, es conveniente emplear palas de vapor, locomotoras, grúas, trituradoras potentes, transportadores de cable aéreo y otros artefactos mecánicos para la conducción de los materiales desde las canteras hasta su colocación en la obra.

Esto exige la aportación de un capital considerable para los trabajos de preparación, sobre todo si no se utilizan los artefactos para la construcción de varias presas consecutivamente.

No es fácil realizar rápidamente un proyecto de riegos, por la presión política que se ejerce sobre el Gobierno para lograr el reparto de la consignación disponible entre numerosos proyectos. Sería conveniente que los recursos se empleasen en menos obras y se terminasen éstas más pronto: así el dinero que se invirtiera cada año resultaría más reproductivo.

En las empresas particulares, como, por ejemplo, aquellas dedicadas al suministro de fuerza hidroeléctrica a las regiones industriales donde ya existe fuerza producida por vapor, el valor económico de la rapidez en la ejecución de los saltos puede apreciarse por el coste del carbón economizado, lo cual en un proyecto de importancia excede de centenares de miles de toneladas al año, y representa una proporción bastante importante del precio total de la obra. Esta rapidez, a su vez, facilita, por el coste reducido de la fuerza, el más rápido desarrollo de las industrias en competencia con otras regiones, el aumento de jornales cuando sea necesario y el mejoramiento general de las condiciones sociales, cuestión hoy tan importante en todos los países.

### CAPÍTULO III

#### Procedimientos modernos para la confección del hormigón.

a) CONSIDERACIONES GENERALES.—Para obras en las cuales es necesario construir masas considerables de hormigón, pueden obtenerse grandes economías en la confección de dicha fábrica aplicando métodos perfeccionados en la dosificación de sus componentes. Estos métodos son sencillos, y están basados en principios expuestos hace muchos años. Las economías resultantes son tan notables algunas veces, que suelen inspirar desconfianza cuando no se conocen las obras construidas y no se han estudiado con algún detenimiento aquellos procedimientos.

Aunque el empleo del hormigón se remonta a la antigüedad, todavía imperan una marcada rutina y una falta de estudios exactos respecto a los componentes con que debe elaborarse aquella fábrica. En la práctica, es corriente que la mezcla se haga en proporciones fijadas de un modo empírico, sin tener en cuenta las características de los materiales que han de emplearse. Es corriente que la proporcionalidad de los elementos que integran el hormigón no se fije en virtud de estudios y ensayos especiales (que necesitan tiempo y un gasto más o menos elevado, según los casos), y se aplica el empirismo, que obliga a emplear mayor cantidad de cemento en la mezcla, para prever las contingencias que puedan sobrevenir. Este exceso de cemento empleado, siguiendo los procedimientos corrientes, actúa más bien como materia inerte, que se limita a llenar los intersticios, que como aglutinante, a pesar de ser este último el único objeto que debe cumplir, resultando así el coste de una gran parte del cemento una cantidad malgastada casi por completo.

Los métodos modernos para la dosificación del hormigón tienen por objeto reducir los intersticios a un minimum práctico, y el llenarlos con una mezcla aglutinante de bastante consistencia con un exceso tal que permita:

*Primero.* Dar al conjunto la plasticidad necesaria, según los casos, para hacer posible su fácil manipulación; y

*Segundo.* Contar con el margen indispensable para prevenirse contra las anomalías que pudieran sobrevenir en la obra. Por consiguiente, esta dosificación científica es un problema mecánico al cual se ha prestado poca atención, en relación con la importancia que verdaderamente tiene.

En obras pequeñas y diseminadas, el empleo de hormigón graduado no ofrece ventajas importantes, pues la economía de cemento resulta equilibrada por la necesidad de una mano de obra más perfecta y más asidua inspección.

El hormigón que se obtiene aplicando la dosificación científica es en todos conceptos mejor que el que se consigue por los métodos corrientes, y la comparación de hormigones de idéntica resistencia resulta a favor del primero, que tiene mayor densidad, menor absorción y menor permeabilidad, cuyas cualidades le ha-

cen menos expuesto a las acciones externas químicas o mecánicas.

La reducción en el coste y el mayor grado de perfección obtenidos en la confección del hormigón mediante la adopción de los procedimientos modernos, son factores esenciales que es necesario tener muy en cuenta para la construcción de obras de gran cubo con esta clase de fábrica. Estos factores no sólo deben estudiarse para obras particulares, sino también para las ejecutadas por la Administración. Esta tiene a su cargo grandes presas para pantanos. Así puede dar a las mismas gran impulso y conseguir rapidez en la construcción. En estos casos, el precio del hormigón representa para el presupuesto total una partida importantísima. Es, por lo tanto, muy conveniente que todos los interesados en la construcción de tales obras faciliten y presten su cooperación al estudio y aplicación de los procedimientos mencionados.

Los principios fundamentales no son nuevos, habiendo sido expuestos primeramente por Feret y otros notables ingenieros europeos. Sin embargo, su desarrollo en Europa ha sido lento, y sus aplicaciones verdaderamente prácticas han tenido lugar en otros países. Su introducción en España es de fecha reciente. Desde el incremento que actualmente han alcanzado las grandes obras de hormigón y el gran impulso que necesariamente han de experimentar, por la necesidad siempre creciente de crear grandes embalses para riego y fuerza, está indicado el empleo de estos procedimientos modernos. En efecto: aplicándolos, se obtiene de una manera científica la resistencia deseada para cada caso, según su dosificación; su confección es más perfecta, y su coste, empleando sólo el cemento indispensable, es inferior al coste que resultaría si se ejecutara por los métodos corrientes. Esta consideración económica es de importancia, a causa de los aumentos que el coste de materiales y mano de obra han sufrido con motivo de la crisis producida por la guerra europea. Cuando estos méritos del hormigón «graduado» sean generalmente conocidos y su empleo no suscite los recelos que sólo a primera vista se ofrecen, necesaria e indiscutiblemente se impondrá su fabricación, que hará factible muchas obras importantes, tan indispensables para el desarrollo de la economía nacional.

B) HECHOS EXPERIMENTALES EN QUE SE FUNDAN LOS PROCEDIMIENTOS.—Los procedimientos para la fabricación del hormigón graduado están basados sobre ciertos datos experimentales que brevemente pueden resumirse así:

*Primero.* La resistencia del hormigón en la práctica depende únicamente de la resistencia de la pasta aglutinante, suponiendo que el aglomerado tenga la debida homogeneidad y una resistencia mayor que la de dicho aglutinante.

*Segundo.* La resistencia de la pasta depende de la relación que existe entre la cantidad de materia activa y la del agua empleada, cuya relación, en la práctica, varía para cada cemento según la cantidad de polvo impalpable que contenga y la fluidez que se exija para el hormigón.

*Tercero.* La cantidad de pasta aglutinante necesaria está fijada por el volumen de intersticios que ofrezcan los aglomerados más el exceso de pasta que debe añadirse para obtener la plasticidad necesaria en el hormigón.

*Cuarto.* Toda cantidad de pasta aglutinante empleada con exceso en relación a la indicada es inútil, y su único efecto consiste en aumentar, innecesariamente, la plasticidad del hormigón y, por consiguiente, la facilidad de su colocación en la obra. Este exceso aumenta asimismo la porosidad y la permeabilidad del producto.

C) PROCEDIMIENTO LÓGICO.—El procedimiento lógico para la clasificación del hormigón para un fin determinado es, por consiguiente, el siguiente:

a) Determinar el tamaño máximo del aglomerado, que debe fijarse lo más grande que sea posible, teniendo en cuenta el objeto y condiciones a que la obra ha de responder.

b) Fijar la dosificación con los elementos disponibles, de tal modo, que el volumen de intersticios sea el menor posible.

c) Determinar el menor tanto por ciento de exceso de los ingredientes finos que sea indispensable, pero suficiente para llegar a la plasticidad estrictamente necesaria del hormigón para facilitar la colocación del mismo en la obra.

d) Determinar la cantidad mínima de agua con relación al cemento en la pasta aglutinante, teniendo en cuenta la fluidez necesaria para la conducción y colocación del hormigón en la obra.

e) Calcular la producción de cemento necesaria para poder obtener la resistencia apetecida.

Desde luego, de no conseguirse una perfecta graduación de los materiales, desde el mayor tamaño fijado hasta el polvo impalpable, el aumento de intersticios resultante de aquella imperfección tendría que compensarse con un aumento de pasta aglutinante. De no hacerse así, el hormigón resultante sería difícil de amasar y, muchas veces, poroso y permeable después de fraguado. A veces, esta porosidad no resulta perjudicial, pero en la mayoría de los casos es muy conveniente la impermeabilidad en la fábrica para impedir la acción nociva de aguas yesosas salitrosas o del agua de mar, al penetrar éstas dentro del hormigón.

Si no fuese posible añadir el polvo fino inerte (del tamaño de aquellas partículas de cemento que sean activas, o sea de 0,02 milímetros o menores), debe entonces aumentarse la proporción de pasta. El cemento puede mezclarse con otras sustancias, como cal apagada, polvo de rocas, etc., y en este caso el amasado tendrá que hacerse con más escrupulosidad para que la pasta aglutinante resulte homogénea y uniformemente mezclada. También podría emplearse moliéndolos con el *clinker*, sílice, caliza, granito, basalto, tierras de infusorios o rocas volcánicas descompuestas, etc., como se hace en la fabricación del llamado *sand-cement*. Empleando este último procedimiento, muchas veces resulta aumentado el rendimiento del *clinker*, porque el cemento resulta molido a un mayor grado de finura y perfectamente mezclado con los otros componentes.

De las consideraciones anteriores resulta evidente que la dosificación científica del hormigón obedece a procedimientos sencillos, y que las ventajas logradas en la práctica son consecuencia de la fiel aplicación de principios mecánicos bien conocidos. Únicamente pueden presentarse reacciones químicas suplementarias cuando se notan los efectos que se producen por la unión de la cal libre con las sustancias silíceas pulverizadas hasta un grado extremo, o en estado coloidal.

Estas reacciones, en el caso de producirse, suponen evidentemente un aumento en la resistencia y demás favorables características del hormigón. Se puede, por consiguiente, prescindir de la consideración de tales reacciones químicas en el estudio del hormigón graduado para estar siempre dentro de las hipótesis más desfavorables. Así deben atribuirse las ventajas obtenidas únicamente al más perfecto amasado y a la disminución del volumen de los intersticios y de la proporción de agua respecto al cemento.

D) VENTAJAS DEL CEMENTO DE EXTREMADA FINURA.—Una parte importante de las ventajas obtenidas con tales procedimientos se debe a la eficacia del cemento molido muy fino. En la práctica corriente se considera como activa la totalidad de cemento, o, cuando menos, aquella parte que pasa por el tamiz de 4.900 mallas por centímetro cuadrado. Sin embargo, la única parte verdade-

ramente activa es la que se hidrata durante la operación del amasado y fraguado. Las partículas de *clinker*, mayores de 0,02 de milímetro, se hidratan superficialmente a la profundidad de unos 0,01 milímetro; pero esto no tiene importancia con relación a la acción del polvo impalpable de cemento que se hidrata completamente durante el amasado. Las partículas más gruesas están rodeadas de los productos de la hidratación del polvo fino durante el amasado y fraguado, y, por lo tanto, no actúan como aglutinante de los otros elementos de mayor tamaño del aglomerado. Estas partículas de *clinker* llenan los intersticios de la misma manera que lo harían las materias inertes, siendo eficaz, únicamente, la película fina de sustancia hidratada, arrancada de la superficie durante el amasado.

Para demostrar este hecho experimentalmente, se hacen unas tortas, empleando las partículas de cemento que pasan por un tamiz de 4.900 mallas por centímetro cuadrado, y que, sucesivamente, se retienen en los tamices de 6.200, 10.500 y 17.000 mallas por centímetro cuadrado y clasificadas por la levigación de beucina. Aquellas partículas retenidas por los tamices de hasta 17.000 mallas, no poseen adherencia apreciable a menos que sean amasadas por tanto tiempo y con tanta fuerza que se produzca cantidad de materia hidratada suficiente para unir las. El polvo que pasa por el tamiz de 17.000 mallas por centímetro cuadrado contiene una proporción elevada de las partículas más gruesas que no llegan a hidratarse más que superficialmente, y el empleo del microscopio demuestra que, de los polvos más finos, solamente las partículas de un diámetro de 0,2 milímetros o menor se hidratan por completo; las demás acusan siempre un núcleo de *clinker* sin hidratar. Es, pues, evidente que el moler el cemento muy fino es un medio directo para obtener mayor eficacia en su empleo, y que al calcular su rendimiento se debe considerar como activa únicamente aquella parte que logra hidratarse durante el período de amasado y fraguado.

Puede afirmarse que el verdadero valor del cemento se basará, en un porvenir próximo, en el tanto por ciento que pase por tamices de 17.000 mallas por centímetro cuadrado, o aun por tamices de mayor número de mallas. El empleo del cemento que deja un residuo sólo de 10 a 12 por 100 en el tamiz de 17.000 mallas, aunque más elevado el precio, resultará ventajoso. Como prueba de esta tendencia se puede citar el caso de una fábrica muy conocida en los Estados Unidos de América que, haciendo uso de molinos perfeccionados, ha puesto a la venta cemento molido hasta dejar residuos del 3 al 5 por 100 en el tamiz de 6.200 mallas por centímetro cuadrado (que corresponde a los de 6 al 12 por 100 en el tamiz de 17.000 mallas por centímetro cuadrado). Este producto acaba de ponerse a la venta, y hasta ahora no se tiene noticia del grado de aceptación que haya obtenido en el mercado.

E) MATERIALES DISPONIBLES Y SU INFLUENCIA EN EL HORMIGÓN. En la práctica resulta casi siempre económico emplear los materiales que se hallan inmediatos a las obras. Si se encuentran cerca del emplazamiento gravas y arenas en cantidad suficiente, debe darse preferente atención a su empleo, aislada o conjuntamente con otros materiales. Sin embargo, una presa de grandes dimensiones se emplaza generalmente en un desfiladero profundo y estrecho y sobre roca dura, en cuyo sitio casi nunca se encuentran grava y arena, mientras que la excavación para la presa, vertedero y obras accesorias, produce gran cantidad de piedra procedente de los desmontes. En tales condiciones está indicadísimo el empleo de piedra triturada que se presta fácilmente a la aplicación de los procedimientos expuestos.

Existe la creencia general de que la resistencia del hormigón depende en primer lugar de la naturaleza de los aglomerados y de

la arena empleada. Esto resulta cierto solamente en cuanto a la influencia que en la plasticidad tienen las formas características de los aglomerados. Estas, al ser muy irregulares, hacen variar sensiblemente la proporción de los intersticios y obligan a aumentar el exceso de mortero para obtener la plasticidad necesaria, así como la cantidad de agua empleada en la proporción a la del cemento. Estas cantidades de pasta aglutinante y agua son las que determinan la resistencia del hormigón.

Comparando hormigones con distintos aglomerados, si éstos han sido clasificados del mismo modo respecto a sus tamaños y formas características, de manera que se requiera la misma proporción de pasta aglutinante, y si la cantidad proporcional de agua es la misma con respecto al cemento activo, no solamente se obtendrá igual resistencia, sí que también las demás propiedades de los hormigones comparados serán idénticas. Esto no resulta cierto en los casos en que el aglomerado es de menor resistencia que la materia aglutinante, como sucede cuando el primero se compone de pizarras u otras rocas laminadas o disgregadas de poca consistencia, ni tampoco cuando en mezclas áridas los fragmentos de aglomerado de gran tamaño están en contacto de tal manera que la prueba acusa una resistencia comparable con la de la piedra misma.

Estos casos son excepcionales, y en la práctica se puede apreciar que en los hormigones compuestos con una misma dosificación de los tamaños distintos del aglomerado y con una misma cantidad de agua en proporción a la del cemento, se obtiene la misma resistencia aun cuando se hayan empleado piedras procedentes de granitos, areniscas, calizas, cantos rodados, etc.

F) EFECTO DEL TAMAÑO DE LOS AGLOMERADOS.—El tamaño máximo admisible de los componentes del aglomerado depende de los materiales disponibles, de la clase de hormigón que deba confeccionarse y del empleo que haya de darse al mismo.

Para el hormigón armado, sobre todo cuando han de emplearse moldes estrechos y las armaduras metálicas han de estar poco distanciadas, hace falta fijar el tamaño de las piedras con un máximo relativamente reducido.

Para hormigones en masa, empleando piedra triturada, el tamaño máximo generalmente sólo depende de los medios disponibles para la trituración de la piedra y conducción del hormigón.

Existe una ventaja evidente en adoptar el mayor tamaño posible para la piedra. Con ello la cantidad necesaria de pasta aglutinante se reduce sin cambiar sensiblemente la proporción de agua al cemento y la capacidad de las trituradoras resulta mayor, disminuyendo así el coste de la trituración. También la densidad y la impermeabilidad del hormigón acusa aumentos de consideración.

En el hormigón ordinario en masa es práctica corriente el empleo de piedras de un tamaño máximo de 5 a 7 centímetros, pero no hay motivo alguno para tal limitación. En obras de importancia donde se emplean trituradoras, hormigoneras y medios de transporte adecuados, y donde el aumento de producción de tales máquinas y aparatos resulta conveniente, puede adoptarse con gran ventaja el tamaño de 15 y hasta de 20 centímetros. Desde luego, no es posible el empleo de palas, rastrillos y azadas para la colocación y traslado del hormigón con material de tal tamaño; pero en obras de la importancia que supone el empleo de dichos tamaños de piedra, no es necesario ni económico hacer uso de la mano de obra en tales operaciones para remover el hormigón.

Con medios auxiliares convenientes, el hormigón debe quedar colocado en el sitio que le corresponde en la obra. Únicamente será necesario atender a la parte correspondiente a las su-

perficies de los moldes, donde con poca manipulación puede quedar la fábrica en las condiciones requeridas.

En general, con el hormigón «graduado» el aumentar el tamaño máximo de la piedra al doble para la misma resistencia produce una economía de cemento del 20 al 25 por 100 por la reducción que resulta en el volumen de intersticios. La determinación del tamaño máximo de la piedra depende de un estudio comparativo en cada caso de los diferentes factores que intervienen en la confección del hormigón; por una parte, existe la economía de cemento con el empleo de tamaños grandes de piedra; este tamaño permite asimismo una mayor producción en las canteras y en las machacadoras y una economía de explosivos; de otro lado, las instalaciones para la confección, conducción y colocación del hormigón en la obra son de mayor importancia.

G) EFECTO DE LAS VARIACIONES DE LA DOSIFICACIÓN DE LOS TAMAÑOS.—Después de determinar el tamaño máximo de los aglomerados que resulte más económico y conveniente, la dosificación de las partículas de menor tamaño hasta el polvo más fino puede variarse algo en la práctica, sin influir notablemente en la resistencia del hormigón, siempre que la relación del cemento al agua sea constante y que la mezcla no contenga huecos por falta de plasticidad. Las proporciones de cada tamaño intermedio dependen así, principalmente, de la maquinaria disponible, y, algunas veces, de la clase de material que haya de emplearse.

Cuando se hace uso de la piedra triturada, las proporciones adoptadas en la práctica para los compuestos gruesos e intermedios son aproximadamente las que se producen normalmente por las trituradoras escogidas para la obra. Cuando se emplean materiales sin triturar (por ejemplo, por la clasificación y combinación de las gravas y arenas de río), la dosificación de tamaños puede variarse dentro de límites razonables para lograr aprovechar todo lo posible del producto de las clasificadoras o cribas.

En cuanto a los ingredientes muy finos, es necesario, generalmente, para conseguir la debida impermeabilidad y economía del cemento, apartarse algo de las proporciones que producen las trituradoras corrientes. Por consiguiente, hace falta instalar también maquinaria para producir los materiales muy finos y para poder variar la proporción de los mismos, lo cual requiere en la práctica algún mayor estudio en la instalación y cuidado en la manipulación.

La mezcla de todos tamaños, que tiene la mayor compacidad posible, no se puede adoptar en la práctica, porque tal mezcla carece de la plasticidad necesaria para el amasado y la consolidación. Es necesario para que adquiera esta plasticidad añadir cierto exceso de los ingredientes de tamaño medianos y muy finos, aunque así necesariamente se aumente la proporción de los intersticios y, por consiguiente, la cantidad de pasta aglutinante.

Empleando piedra triturada, la dosificación más sencilla de las cantidades de ingredientes, según su tamaño entre el máximo aceptado y la de una décima (1) de éste, es la que se produce normalmente en una trituradora; es decir, que es uniforme la cantidad de piedra por cada unidad de diferencia en la dimensión lineal de la misma.

El material de tamaño inferior al indicado de

$$\frac{1}{10} \text{ o } \frac{1}{8} \sqrt{2}$$

del máximo, se designa generalmente con el nombre genérico de «arena», sea natural o artificial, y en la práctica, la proporción

(1) Este coeficiente de  $\frac{1}{10}$  se toma como aproximado de  $\frac{1}{8} \sqrt{2}$ , en el cual aparece la  $\sqrt{2}$ , que es la relación arbitraria que se adopta en las dimensiones lineales para la serie de tamices generalmente usada en los laboratorios.



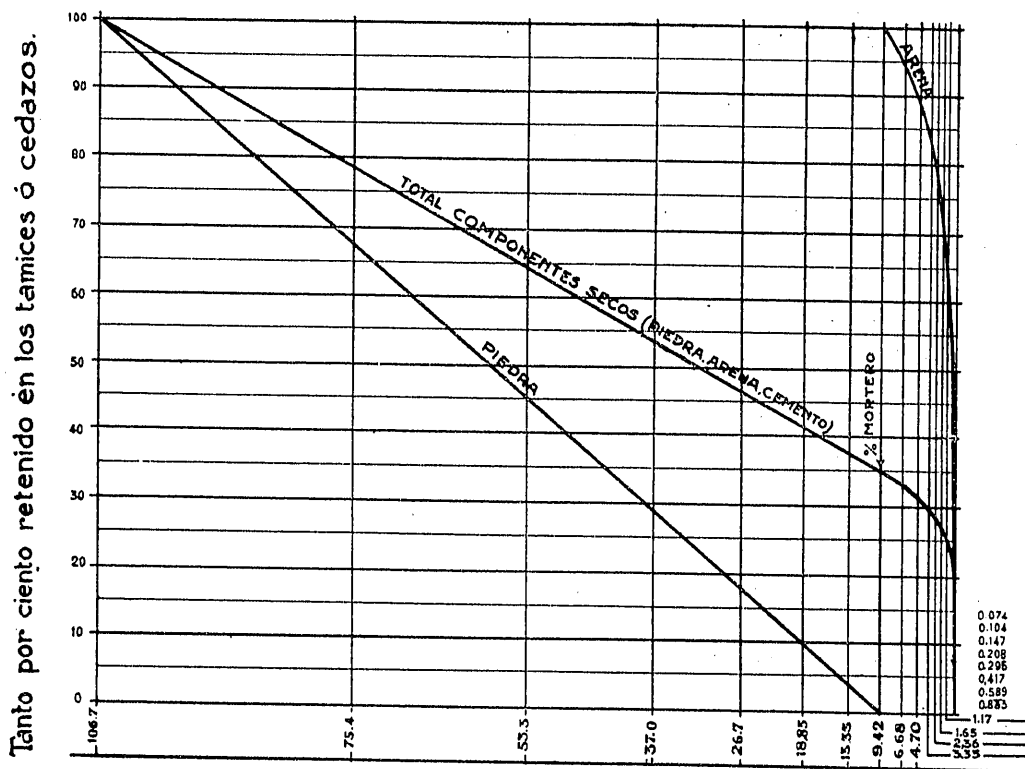
de este material, incluyendo el cemento y el polvo impalpable, oscila entre un 30 a 40 por 100 del peso total de componentes secos. Esta proporción varía según la figura característica y la dosificación de tamaños de los componentes gruesos, así como también según el grado de plasticidad que deba tener el hormigón. La proporción de cada componente de la «arena», desde el tamaño mayor hasta el polvo impalpable, generalmente se fija por una función que varía inversamente a la dimensión lineal de la partícula que lo caracteriza, resultando así que los componentes más finos se encuentran en mayor proporción. El efecto de apartarse de estas reglas empíricas aun no está del todo estudiado, y este procedimiento debe mejorar, como resultado de las pruebas y

llamado «módulo de finura», deducido del gráfico que representa el análisis mecánico de la mezcla, cuyo módulo indica las cualidades más importantes de la misma y permite simplificar mucho el estudio de éstas. Por este motivo, sin tratar de discutir sus estudios, que merecen una Memoria aparte, se definirá aquí este módulo y se mencionarán las consecuencias que se deducen del estudio de la dosificación de tamaños. Cuando se trate de una mezcla graduada de componentes secos del hormigón clasificada desde el tamaño máximo al polvo impalpable por medio de una serie de tamices de los usados en los laboratorios, los resultados pueden representarse gráficamente por curvas, cuyas abscisas pueden ser dibujadas según la escala aritmética en la forma co-

**Fig. 3**

**GRÁFICO REPRESENTANDO EL ANALISIS MECANICO DE UNA MEZCLA**

**Escala Aritmetica**



**Escala aritmetica representando en m/m. las dimensiones lineales de las mallas que constituyen los tamices según la relación  $\sqrt{2}=1.414$**

*Nota: En los tamices en donde entran muchas mallas por cm<sup>2</sup> las dimensiones lineales de estas no pueden representarse gráficamente por su pequeña magnitud.*

estudios que se están llevando a cabo actualmente con este objeto. Sin embargo, la dosificación indicada da resultados satisfactorios en la práctica, en cuanto a la resistencia e impermeabilidad, por cuyo motivo es la generalmente empleada.

H) **MÓDULO DE FINURA.**—El profesor A. Abrams ha llevado a cabo una muy extensa serie de pruebas ejecutadas con el concurso de los fabricantes de cemento portland de los Estados Unidos, en el Structural Materials Research Laboratory, de Chicago, habiendo hecho unos 50.000 ensayos durante cada uno de los últimos cuatro años. Los resultados obtenidos han originado nuevos puntos de vista para el estudio de la dosificación de los tamaños en la confección del hormigón. Como consecuencia de estos trabajos, el profesor Abrams ha propuesto un coeficiente

rriente o bien según sus logaritmos. La primera representación en la parte correspondiente a los componentes finos aparece necesariamente muy confusa por las dimensiones lineales, casi irrepresentables, de los tamices finos. Este inconveniente desaparece cuando se representan las dimensiones por sus logaritmos, sobre todo cuando se emplea una serie de tamices cuyas medidas lineales guardan entre sí una relación constante. En las figuras 3.<sup>a</sup> y 4.<sup>a</sup> se representan gráficamente los análisis mecánicos de una mezcla típica, con abscisas en escala aritmética y logarítmica, respectivamente.

Refiriéndose a la representación logarítmica, se designa «módulo de finura» a la relación entre la superficie  $ABCD$  y la  $AEPD$ . Todas las mezclas que tienen el mismo módulo de finura

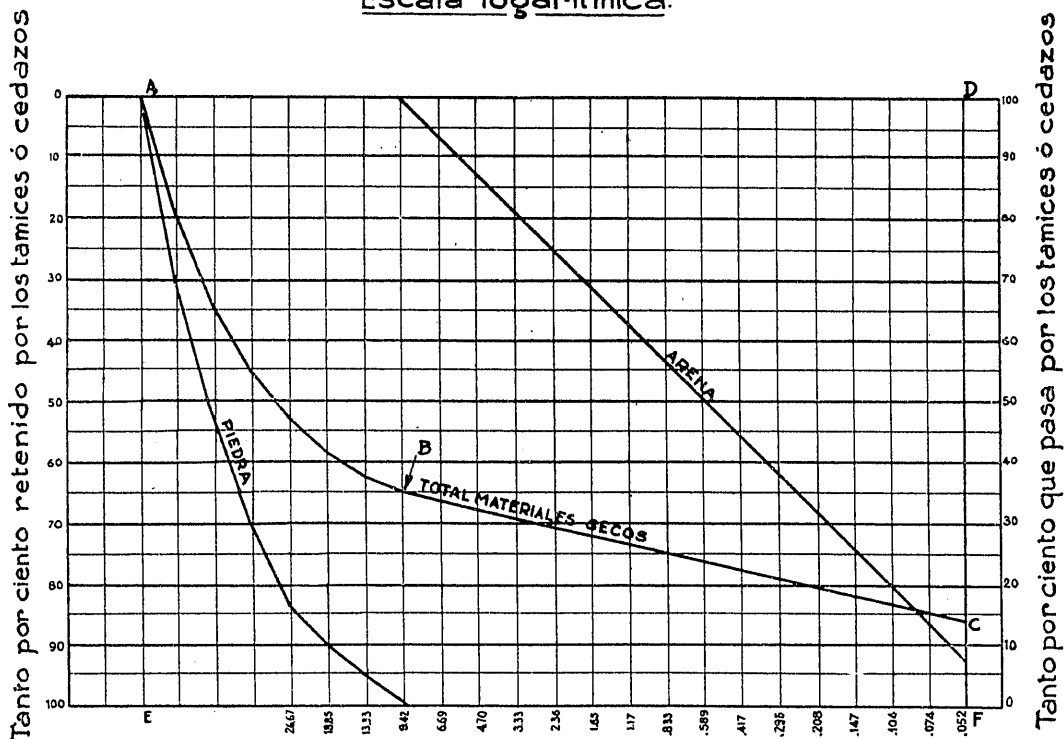
correspondientes a diferentes dosificaciones de materiales clasificados según sus tamaños (independientemente de la configuración de la curva, y siempre que el material grueso no resulte excesivo para la cantidad de mortero empleado), necesitan la misma cantidad de agua para producir un hormigón de la misma

de finura necesaria para alcanzar la resistencia máxima, empleando cierto tamaño máximo de material. El módulo de finura indica y refleja las variaciones de la proporción del cemento al agua necesaria para producir, con distintos materiales, la misma plasticidad.

Fig. 4

GRÁFICO REPRESENTANDO EL ANALISIS MECÁNICO DE UNA MEZCLA

Escala logarítmica.



Escala logarítmica de las dimensiones lineales de las mallas según la relación constante  $\sqrt{2}=1.414$ , cuyo logaritmo es 0,15051

Modulo de finura Abrams  $\frac{ABCD}{AEFD} = 6,20$   
 Relación del mortero a los componentes secos  $\frac{ABC}{AEFD} = 0,35$   
 Coeficiente de plasticidad  $\frac{ABCFE}{ADFE} = 0,342$

plasticidad y de la misma resistencia empleando igual cantidad de cemento.

Este módulo de finura está íntimamente relacionado con la resistencia y otras cualidades del hormigón, y representa para tales propiedades la característica esencial del gráfico del análisis mecánico. Para cada dosificación de cemento existe un valor del módulo de finura que da la resistencia más alta. Para cada dosificación del cemento acusa un valor diferente el valor del módulo

Este nuevo punto de vista de las variaciones admisibles en la dosificación de tamaños que producen la misma resistencia, indudablemente facilitará mucho el estudio de este asunto, sobre todo cuando se aprovechen aglomerados naturales; en este caso, es conveniente disponer de mayor libertad al fijar las proporciones que cuando se trata de materiales triturados, cuya clasificación de tamaños se puede ajustar más cómodamente.

(Continuará.)

REVISTA EXTRANJERA

**Las instalaciones mecánicas de la fábrica eléctrica de Coventry (Inglaterra) (Conclusión).**

*Depósito de carbón de reserva.*—Un espacio que está a continuación de la sala de calderas con una longitud de 36 metros, próximamente, sirve para almacenar una reserva de carbón que puede emplearse en caso de parada eventual del aprovisionamiento normal. El carbón que debe almacenarse en este depósi-

to se transporta primero, a partir de los transportadores que bordean el canal, llevándolo por el transportador de arcaduces a la cuarta tolva, de donde sale por uno de los canelones *a* (fig. 10) que permite, ya la descarga directa en montón, ya llenar los camiones *b*.

Debajo del depósito se ha establecido una galería de mampostería, cubierta por unas placas de fundición, en la cual se encuentra un transportador de correa que sirve para tomar el