

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

El empleo del hormigón en las grandes presas

FOR

A. W. K. BILLINGS

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

(CONCLUSIÓN) (1)

I) PLASTICIDAD Y EFECTO DEL EXCESO DE MORTERO.—Una mezcla, en la cual cada partícula ocupa exactamente el lugar que le corresponde entre las otras, sería indudablemente el ideal de compacidad si fuese posible colocarlas así; y, evidentemente, tal mezcla necesitaría el *mínimum* de pasta aglutinante o, para una resistencia dada, la menor cantidad de cemento. No obstante, sería completamente imposible amasar y consolidar tal mezcla, porque tendría una falta absoluta de plasticidad; es decir, los componentes no tendrían entre sí la libertad de movimiento necesaria. Existiría, por el contrario, una plasticidad perfecta cuando el exceso de mortero en los tamaños más pequeños fuese tal, que cada partícula pudiese girar libremente para ocupar cualquier posición respecto a las otras de tamaño parecido o mayor. Entre estos dos límites, de una mezcla absolutamente no plástica o árida, y una mezcla perfectamente plástica, se pueden obtener en la práctica todos los estados intermedios.

Es evidente, y lo hacen resaltar las pruebas, que la proporción de mortero en exceso o de componentes finos de cualquier tamaño añadidos para facilitar el amasado, debe ser la *mínima* necesaria para tal objeto. Tal exceso tiene siempre menor densidad que la piedra a la que sustituya, y, a causa del aumento de intersticios, es menester emplear más pasta aglutinante para alcanzar una resistencia determinada. También con mortero muy fluido hay tendencia a que las piedras bajen y el exceso de mortero suba a la superficie formando una capa encima del hormigón vertido durante el día, lo cual, naturalmente, es perjudicial para la homogeneidad de la obra.

La proporción de los componentes finos o del mortero excedente para grandes masas debe aumentarse cuando aumenta la relación de las superficies envolventes—incluso la libre—al cubo de hormigón. En capas delgadas de poco espesor o en moldes estrechos, para evitar que las piedras grandes queden colocadas de-

masiado en contacto con las superficies limítrofes (incluyendo la armadura u otras obstrucciones internas, como también la superficie superior libre del hormigón), es menester aumentar del exceso mortero, pues, de otro modo, hace falta que el mortero refluya por la manipulación sobre estas superficies, reduciendo así la plasticidad de la masa y haciendo posible que queden huecos, ya contra los moldes, ya alrededor de las armaduras.

J) IMPERMEABILIDAD Y EFECTOS DEL POLVO.—Como ya se ha indicado, las partículas de cemento del tamaño de 0,02 milímetros o mayores se hidratan solamente en la superficie, y el núcleo de *clinker* queda sin alteración dentro de la masa de material hidratado. Esta masa se constituye casi totalmente por la hidratación del polvo impalpable del cemento, y las partículas de *clinker* sin hidratar obran como material inerte. El polvo impalpable de piedra queda también sin alteración; pero, por su dimensión tan reducida, sirve para aumentar el volumen de la pasta aglutinante, así como aumenta la potencia de ésta para cubrir las superficies del aglomerado. Esta acción puede explicar, en parte, el aumento de rendimiento del *sand-cement*.

Es preciso tener en cuenta al emplear estos elementos inertes muy finos, si se hace uso del cemento del comercio con las dosificaciones excesivas ordinarias, que dichos elementos producen cierta disolución en la pasta aglutinante, restándola potencia. Para las dosificaciones más económicas, donde el cemento se emplea en cantidades suficientes, aunque poco excesivas, se debe evitar el empobrecimiento accidental de la pasta, debido a no prestar la atención debida a la proporción de elementos finos. Por este motivo, es importante vigilar y determinar bien la cantidad empleada y la finura del polvo.

El polvo extremadamente fino juega un papel importante, no solamente con respecto a la resistencia de la pasta aglutinante y, por consiguiente, del hormigón, sino también en cuanto atañe a la impermeabilidad.

Es un hecho notable el que los hormigones graduados que contienen cierta cantidad de polvo inerte impalpable sean casi absolutamente impermeables después de un período breve de endurecimiento, seguido de otro período, breve también, de exposición a la presión del agua.

La permeabilidad es siempre apreciable al principio en todo hormigón; pero cuando éste se halla expuesto a presiones de agua en obras hidráulicas, los poros microscópicos se obstruyen rápidamente, y después de un corto espacio de tiempo (algunos días o semanas), el hormigón alcanza un alto grado de impermeabilidad.

(1) Véase el número anterior.

Así, refiriéndose a presas de embalse, la cantidad de agua que puede pasar a través del macizo en cualquier parte del mismo después del período indicado, es tal, que en el paramento de aguas abajo corresponde a una película de un espesor muy inferior al que se evapora aún en invierno, y, por lo tanto, no puede llegar a ser notado. No son, por consiguiente, necesarios en modo alguno los diversos sistemas empleados para impermeabilizarlas artificialmente, haciendo uso de pantallas, de conductos interiores, etcétera, etc.

K) FLUIDEZ Y EFECTO DEL AGUA DURANTE EL AMASADO Y CONSOLIDACIÓN.—Para el transporte y consolidación del hormigón ha sido práctica corriente durante los últimos años aumentar indebidamente la proporción del agua para que el hormigón se deslice libremente por canales de poca inclinación; esto da por resultado un hormigón de calidad inferior, y tiene tantos inconvenientes como el empleo de las mezclas muy secas, que exigían un apisonado enérgico, que fué preconizado en tiempos anteriores.

Aun con las cantidades excesivas de cemento empleadas en obras corrientes, se han presentado serias dificultades motivadas por el empleo abusivo del agua. Con el molido más fino del cemento, más exigido cada día, y con la reducción del exceso de cemento que se propone, es de gran importancia tener una mayor inspección y vigilancia que no permitan emplear más cantidad de agua que la estrictamente precisa.

La cantidad de agua necesaria para la hidratación del cemento es una pequeña parte de la indispensable para facilitar el amasado y consolidación del hormigón; el exceso de agua no empleado en la hidratación del cemento sirve para llenar los intersticios, expeliendo el aire, y para mantener en suspensión las partículas del aglomerado, facilitando así la manipulación en el hormigón. Después del fraguado, este exceso de agua continúa en el hormigón como humedad, y, al desaparecer durante la desecación, deja los poros correspondientes. Estos poros son el factor más importante en la absorción y permeabilidad del hormigón. Cualquier exceso de agua por encima del minimum necesario para el amasado y consolidación produce una disminución notable en la resistencia del hormigón. Los últimos estudios han demostrado que la resistencia de cualquier hormigón depende fundamentalmente de la proporción de cemento al agua empleada, y que los otros factores afectan a la resistencia solamente en la medida en que afectan a esta proporción del cemento al agua.

Es de todo punto esencial insistir en que el agua empleada en el amasado del hormigón debe reducirse al minimum compatible con las condiciones especiales de la obra. Si para la conducción del hormigón se emplean canales, su inclinación no debe ser menor de 30 a 35°, y con preferencia algo mayores, siempre que la rapidez del deslizamiento no motive la segregación de sus componentes. Generalmente se emplean inclinaciones más reducidas; pero en estos casos, si no se aumenta el cemento en proporción al agua para compensar la disminución de resistencia que resulta sin esta precaución, hay peligro de que la obra quede mal ejecutada. Indudablemente, muchos de los efectos observados en obras de hormigón armado en las que se han empleado canales, son debidos al empleo no restringido de proporciones excesivas de agua.

Cuando se usan otros medios para el transporte, como vagones, carretillas o cubos, puede reducirse más la proporción del agua, en cuyo caso, si resulta debidamente consolidado, el hormigón es más resistente, o bien la resistencia deseada puede conseguirse con una menor dosificación de cemento. La resistencia máxima se alcanza generalmente cuando la proporción del agua es tal, que hasta un ligero apisonado para hacerla refluir a toda la superficie, indicando así que todo el aire ha sido eliminado de

la masa. La práctica antigua del apisonado fuerte tiene el gran inconveniente de exigir un exceso de mano de obra penosa, y, por consiguiente, una vigilancia e inspección muy rigurosas.

Para grandes obras, se obtienen en la práctica resultados satisfactorios en la resistencia, adherencia e impermeabilidad con el empleo de un hormigón algo más fluido, cuya plasticidad sea tan sólo la suficiente para evitar la necesidad del apisonado. Así, ejecutando una sencilla manipulación del hormigón cerca de los moldes y en las superficies importantes, puede conseguirse una obra del todo homogénea sin huecos; este es el ideal entre los dos extremos: el hormigón demasiado seco y el excesivamente fluido.

Es preciso economizar el agua, ya que, aun cuando parece ser el elemento más barato, es en realidad el más costoso. Si se emplea más de la necesaria, es menester aumentar la cantidad de cemento o admitir que la resistencia del hormigón quede reducida hasta un punto que, de ser admisible, permitiría una reducción proporcional del cemento. En el supuesto de que la mejor consistencia en ciertos casos, sin apisonado, requiera el emplear agua en proporción del 100 por 100 del peso del cemento, cualquier aumento de agua necesita, para conservar la misma resistencia, un aumento igual de cemento. Si el cemento vale, por ejemplo, 100 pesetas la tonelada, el exceso de agua cuesta a razón de 100 pesetas por metro cúbico. Si este hecho fuese reconocido en la práctica, los procedimientos de la dosificación, amasado y consolidación del hormigón se mejorarían seguidamente sin discusión.

Hasta aquí se ha expuesto lo relativo al tamaño del aglomerado, la dosificación de los tamaños intermedios y finos, la plasticidad y fluidez de la mezcla, y la importancia de evitar todo exceso innecesario de agua. Después de estudiados y determinados estos factores que intervienen en la confección del hormigón, queda por fijar la dosificación de cemento necesario para que una mezcla dada tenga la resistencia exigida por las condiciones de la obra. Manteniendo constante la proporción total de polvo impalpable (incluyendo el inerte y el cemento activo), la resistencia del hormigón resulta, aproximadamente, proporcional a la cantidad de cemento. Así, teniendo ya datos suficientes, suministrados por anteriores pruebas, puede fijarse la dosificación del cemento para la resistencia propuesta.

Es posible, por consiguiente, con un número limitado de pruebas hechas con mezclas de dosificaciones típicas, predecir, con bastante exactitud, las resistencias que podrán alcanzarse con otras dosificaciones; pero siempre que sea con cemento de la misma marca y que concurren condiciones idénticas en el amasado, consolidación, fraguado y endurecimiento. Si para conseguir cierta resistencia se reduce la proporción del cemento, conviene generalmente añadir una cantidad equivalente de material inerte, reducido a polvo impalpable para mantener, sin alteración, la impermeabilidad, plasticidad y demás cualidades. Por ello conviene incluir en la instalación los medios para poder variar el polvo independientemente de la piedra, arena, cemento y agua.

Se ha demostrado que el retroceso generalmente observado en las pruebas de tracción de largo tiempo, sobre todo con la pasta pura, es debido (de no existir acción química anormal) a la influencia del aumento del módulo de elasticidad sobre la distribución del esfuerzo en la sección de la probeta. Coker ha demostrado (por medio de la luz polarizada, empleando una probeta de material transparente) que, en ciertas condiciones, la intensidad máxima del esfuerzo en la sección mínima de la probeta es 1,75 veces la media. Estudios matemáticos indican para condiciones parecidas una relación de 1,54. Esta relación se aumenta con la

edad de la probeta a causa del aumento del módulo, y, por consiguiente, se aumenta también la desproporción entre la intensidad máxima en las aristas (que determina la rotura) y la del interior. En general, los datos publicados tienden a contradecir la creencia general de que la resistencia de los cementos en condiciones normales disminuye después de un período de tres a seis meses.

Las pruebas de compresión, siempre que estén hechas en forma a disminuir o excluir los resultados anormales, acusan un aumento de resistencia que continúa indefinidamente, aunque siempre con mayor lentitud; un estudio de todas las pruebas de largo tiempo publicadas demuestra que las resistencias, después de la primera semana, se pueden representar con bastante exactitud por una fórmula logarítmica: $R = A \log(t) + B$, donde R es la resistencia en compresión, (t) es el tiempo y A y B son constantes que dependen de los materiales, de las condiciones del amasado y de la conservación, etc.

Así si se expresan los resultados empleando las abscisas logarítmicas, resulta una línea recta. Si sobreviene la desecación, el aumento de resistencia desaparece, aunque la resistencia en seco puede acusar un aumento de 15 a 30 por 100 sobre la obtenida en estado de saturación. La confianza que puede depositarse en cualquier serie de pruebas está en razón directa de la uniformidad de los resultados, los cuales deben aproximarse a una línea recta o curva uniforme, según las condiciones de la conservación, etc. Si acusa una disminución sensible, es debido a la presencia de yeso o salitre, o bien a acciones nocivas de otras sustancias en los materiales empleados para la confección, o en el agua en la cual están conservadas, o bien a la desecación.

L.) «SAND-CEMENT». — El producto llamado *sand cement* se compone de cemento portland corriente o el *clinker* (1) equivalente, molido a un grado de finura extremada con cierta proporción de otro material. En algunos casos tiene ventajas considerables, especialmente cuando no es necesaria una resistencia muy alta, pero sí una elevada impermeabilidad, favoreciendo así la acción del material inerte muy fino. Las ventajas son mayores cuando el transporte resulta difícil y el coste del cemento crecido.

Cuando se estudian las pruebas publicadas del *sand-cement* hace falta distinguir con mucha atención y considerar separadamente los resultados referentes a

- a) El mayor grado de finura así conseguido.
- b) La disminución en la proporción de intersticios que resulta en la pasta aglutinante y en el hormigón.
- c) La mezcla más perfecta del cemento y otro material.
- d) Las reacciones químicas suplementarias, no muy bien explicadas, que pueden tener lugar algunas veces entre el cemento y el material añadido.

La falta de atención a estos detalles en las pruebas es causa de la falta de claridad que se observa en la mayoría de los estudios publicados hasta la fecha.

La primera ventaja, la relativa al aumento de finura, se debe al hecho de que, por la mezcla de algunos materiales duros (especialmente la sílice) con el *clinker* antes de molerse, se consigue una finura mucho mayor. La causa no es del todo conocida y no puede atribuirse a la dureza del material. Algunos materiales duros, aun estando bien secos, como, por ejemplo, la dolomía, acusan tendencia a formar una capa adherente en las superficies de trituración del molino, lo que impide pasar de cierto grado la finura. Esta acción se observa sólo en pequeño grado en las prue-

bas de laboratorio; por consiguiente, hace falta asegurarse que los materiales propuestos se prestan a poder ser molidos con el *clinker* hasta el grado de finura deseada en los grandes molinos que se emplearán en la obra.

La segunda ventaja indicada, es decir, la de la disminución de los intersticios, no es exclusiva del *sand-cement*, pues puede conseguirse de otro modo, o sea añadiendo al cemento la cantidad correspondiente de polvo inerte de finura parecida a la de la mezcla, sin molerlo junto con el cemento. Mediante un amasado *muy perfecto*, la dosificación de tamaños de la mezcla queda mejorada y la resistencia correspondiente queda aumentada por la disminución del agua necesaria. Es decir, que esta ventaja puede también obtenerse añadiendo el polvo inerte *separadamente*. Sin embargo, por lo general, esto no se reconoce, y el aumento de impermeabilidad y resistencia así conseguido se atribuye sólo al empleo del *sand-cement*.

La tercera ventaja indicada, es decir, el amasado más perfecto, se debe al hecho de que el polvo impalpable del cemento y del material inerte pueden mezclarse mejor en el molino que en una hormigonera; de ahí que los resultados, cuando se emplee el *sand-cement* sean mejores por este motivo.

Finalmente, cuando se trata de tierra de infusorios, de ciertas rocas volcánicas y de otras en forma de sílice en un estado muy fino, ciertas reacciones químicas complementarias entre la sílice y la cal del cemento producen un aumento apreciable de resistencia. Esta ventaja es la única que resulta inherente al *sand-cement* por sí mismo, y se consigue solamente cuando estos materiales especiales están íntimamente molidos con el cemento. Sin embargo, en la mayoría de los casos, empleando rocas corrientes como material adicional, tales reacciones pueden considerarse como nulas.

Así, en el estudio del empleo del *sand-cement* es menester distinguir perfectamente estos factores para comparar bien las ventajas de tal procedimiento sobre otros medios de conseguir resultados parecidos, combinando los materiales en las hormigoneras.

M) MAQUINARIA Y PROCEDIMIENTOS. — 1) *Fabricación del cemento*. — En muchos casos resulta más ventajoso para una empresa hidroeléctrica instalar cerca del emplazamiento de la presa una fábrica de cemento.

En España es limitada la cantidad de cemento portland disponible. La desaparición gradual de fábricas de cemento natural y la instalación de molinos de tipo moderno para la producción de cemento portland, ocurridas en otros países, obsérvanse también actualmente en España.

El cemento importado resulta caro, y su transporte, especialmente desde el ferrocarril, es a la vez difícil y costoso. Por otra parte, en una fábrica de cemento destinada particularmente a llenar las necesidades de las obras de una presa, se puede ajustar la producción a las necesidades de las mismas, no solamente en cuanto a la cantidad, sí que también a su calidad y grado de finura.

La instalación de un número considerable de nuevas fábricas está perfectamente justificada por el incremento que, en porvenir no lejano, alcanzará el consumo de cemento portland. Los actuales fabricantes han dado pruebas evidentes de su buena disposición a cooperar a ese movimiento, en virtud del cual las fábricas que se instalen para las presas se dedicarán después a la producción de cemento para la venta. El suministro de fuerza a dichas fábricas constituye un apreciable ingreso para la Empresa hidroeléctrica. Citemos el caso de una fábrica moderna, de capacidad de 300 toneladas diarias, que fué construída y funcionó con el mayor éxito, formando parte de la instalación para una presa de

(1) *Clinker* es el nombre que se da a la masa semivitrificada antes del molido para producir el cemento portland.

gran altura, siendo traspasada después a otra Empresa por un precio que se aproximaba bastante al coste, habiéndose convenido al mismo tiempo, en condiciones favorables, el suministro de fuerza para la fábrica en su nuevo emplazamiento y la compra del cemento que pudiese necesitar la Empresa hidroeléctrica en el porvenir.

Para los estudios preliminares, construcción y dirección de la fábrica, precisa personal idóneo, pues la misma facilidad que existe para fabricar cemento con materiales muy distintos, conduce a errores lamentables si el personal no es lo suficientemente experto.

En el caso de no resultar ventajosa la construcción de una fábrica especial de cemento para el levantamiento de una presa, conviene frecuentemente la compra del cemento en forma de *clinker*, almacenándolo al aire libre para molerlo a medida que se vaya necesitando. Siguiendo este plan se evitan la construcción de grandes depósitos y las pérdidas por extravío y rotura de sacos, lo que representa un gasto bastante crecido. Así se puede almacenar una gran cantidad de *clinker* para hacer frente sin interrupción al suministro de cemento. La instalación necesaria consistente en secadero, molino, elevadoras, etc., podría venderse después a otra fábrica para aumentar su producción.

2) *Empleo de maquinaria*.—Hasta hace poco, la mano de obra en España era tan barata, que la instalación de maquinaria en las obras, aun tratándose de presas altas, resultaba poco ventajosa. Los cambios producidos por la guerra, así como el aumento de los jornales y la escasez de obreros en número suficiente para realizar las obras con toda actividad, ponen a España en condiciones muy parecidas a las que desde hace años existen en América y otros países.

Hoy día la construcción en España de una presa de altura requiere instalaciones importantes de compresores, perforadoras, palas a vapor, machacadoras de gran potencia (incluyendo, por ejemplo, una capaz de triturar piedras de 90×120 centímetros), locomotoras, vagonetas, transportadores aéreos; en fin, esa serie de artefactos y maquinaria que son corrientes en obras de esa índole en otros países.

La construcción de una presa alta lleva consigo, generalmente, la de un aliviadero de capacidad suficiente para desaguar varios miles de metros cúbicos por segundo. Para poder construir este vertedero, la configuración del terreno exige, casi siempre, un desmonte, más o menos igual al cubo de la presa. Si los productos de este desmonte se aprovechan para confeccionar el hormigón, el espacio disponible en las canteras resulta tan reducido que favorece y hace necesario el derribar, por medio de túneles cargados de explosivos, grandes masas de piedras de una vez, y el transportar las piedras grandes que resultan a las trituradoras por medio de las palas de vapor y los trenes de vagonetas. El trabajo en semejantes condiciones hace imposible el empleo de braceros como ordinariamente se acostumbra, no solamente porque no se podría trabajar con bastante rapidez, sino por el coste elevado a que resultaría la extracción y machacado de la piedra.

Las ventajas obtenidas por el empleo en el hormigón de piedra de gran tamaño aconseja la instalación de una trituradora de mandíbulas de gran potencia junto con las de menor tamaño, giratorias y de disco, y los molinos de martillo para la producción de los materiales más finos. Sin entrar en más detalles, puede afirmarse que el empleo de piedra de 20 a 25 centímetros de tamaño, machacada en estas grandes trituradoras, después de haber sido cargadas en las vagonetas por las palas de vapor, representa una economía de más de un millón de pesetas en el coste total de una presa de altura sobre el que correspondería emplean-

do trituradoras más pequeñas y cargando los materiales a brazo en las canteras.

3) *Arena artificial*.—Muchos de los ensayos verificados para producir «arena artificial» han fracasado, porque los que acometieron la empresa desconocían los procedimientos mencionados, así como la ventaja que ofrece una dosificación adecuada de tamaños, y se esforzaban en producir, en una instalación separada, arena triturada de tamaño uniforme parecida a la arena natural. Dichos fracasos se deben, en parte, a la dificultad de conseguir una producción adecuada de esa arena de grano uniforme, sin instalaciones de gran capacidad, y en parte también a las dificultades con que se tropieza en el empleo de este producto, aun cuando se fabricase en las cantidades necesarias. Nunca debe intentarse imitar la arena natural. Los que hayan empleado la arena artificial de dosificación adecuada de tamaños, la preferirán invariablemente a la arena natural. Esto mismo puede decirse de la grava o piedra machacada, siendo la de tamaño uniforme muy inferior a la descrita de tamaños dosificados.

4) *Dosificación exacta*.—Es muy difícil medir las proporciones de los varios componentes con toda la exactitud necesaria cuando se emplean piedras de un tamaño máximo de 20 a 25 centímetros. Por ejemplo: una piedra que pase por un anillo de 25 centímetros pesa unos 25 kilogramos; de manera que para conseguir una exactitud del 1 por 100 en la dosificación, es menester emplear las hormigoneras de mayor tamaño, o sea las de metro y medio de cabida. Para facilitar la dosificación exacta cuando, por ejemplo, se hacen mezclas de distintas dosificaciones a distintas horas del día, es muy conveniente instalar un aparato automático para pesar y anotar la cantidad de cada componente en cada amasado, y otro aparato que impida que el hormigón sea vertido antes de que el amasado esté listo. Con tales aparatos, por el hecho de quedar eliminado el criterio del obrero, se asegura un trabajo más exacto y es dable reducir, aunque en pequeña escala, el exceso de cemento empleado en la obra. Si se prescinde de estas precauciones, ese exceso de cemento continuaría siendo necesario para compensar las irregularidades en la medición y en el amasado.

Por las razones ya expuestas, es de la mayor importancia que la proporción del agua empleada esté bajo la vigilancia del inspector principal o de la persona más competente, que pueda fijar la cantidad necesaria para conseguir los mejores resultados. Por razones idénticas, la inclinación de las canales debe ser vigilada, y cuando haya demasiada tendencia a forzar su inclinación, el inspector debe insistir en adoptar el empleo de cubos de volteo, vías con plano inclinado y grúas.

5) *Ensayos e inspección*.—En las pruebas del hormigón el tamaño de los materiales puede originar dificultades. Cuando se emplean piedras que pasan por un anillo de 20 a 25 centímetros de diámetro, para aproximarse a un 2 por 100 a la dosificación especificada, es menester que los bloques de hormigón que han de someterse a ensayo pesen más de una tonelada. Aun los cubos de este tamaño poseen una relación mayor de superficie al volumen que en la fábrica, y en proporción se necesita más mortero con objeto de que no queden huecos. Por regla general, la arista del cubo debe ser por lo menos de cuatro veces el tamaño máximo de la piedra. Para romper los bloques de este tamaño precisaría una prensa de capacidad de más de 1.000 toneladas; de ahí la necesidad de aserrar dichos cubos para poder hacer las pruebas en cualquier prensa más pequeña que se halle disponible. El problema de conservar y transportar un gran número de bloques de este tamaño no es tarea fácil, y los resultados de las pruebas más escrupulosas ponen de manifiesto variaciones harto elevadas. Después de las pruebas oficiales, sobre las que se fundan el

diseño de la presa y las proporciones de los materiales que han de utilizarse, el procedimiento más satisfactorio es hacer pequeños cubos (por ejemplo, de 7 centímetros) con el mortero separado del hormigón por medio de una criba, los cuales resultan más uniformes y representan más fielmente el hormigón del cual se han extraído, siempre que la proporción de agua en el mortero sea idéntica a la de la masa.

Para conseguir la impermeabilidad no hace falta ningún tratamiento especial de los paramentos, siempre que al colocar el hormigón se tenga especial cuidado en que la superficie del hormigón anterior quede limpia de arena y escombros, o hielo, si es invierno. La unión del hormigón fraguado con el de nuevo amasado se facilita vertiendo unos cuantos metros cúbicos de mortero sin piedra al empezar el trabajo de cada relevo. La unión perfecta resulta siempre más fácil con el hormigón graduado que con el hormigón ordinario.

CAPÍTULO IV

Resumen.—Conclusiones.

De las consideraciones y datos expuestos en el cuerpo de esta Memoria se deducen consecuencias que pueden condensarse en las siguientes conclusiones:

Primera. Es innegable que la construcción de presas de gran altura va adquiriendo en la práctica una creciente importancia, y, por consiguiente, debe ser esa construcción estimulada y protegida por el Estado.

Segunda. Las perturbaciones que la guerra europea ha ocasionado aumentan las ventajas del empleo, en esta clase de obras, del hormigón fabricado por procedimientos modernos, que mejoran su calidad y permiten realizar las construcciones con una gran rapidez.

Tercera. El uso del hormigón fabricado, con arreglo a estos modernos procedimientos, produce importantes economías, porque permite la adopción de un *coeficiente de seguridad* uniforme, lo que es más lógico que el aceptar un valor de la *resistencia* uniforme.

Cuarta. Los procedimientos modernos de confección del hormigón se fundan en principios actualmente bien conocidos y comprobados por la práctica, por lo cual deben inspirar completa confianza.

Quinta. La práctica de esos procedimientos modernos produce un hormigón de mejor calidad que el confeccionado según los métodos ordinarios, empleados corrientemente hasta la fecha.

Sexta. La adopción de tales procedimientos, tanto en España como en otros países, es asunto que merece la atención y el detenido y cuidadoso estudio de todo ingeniero que se dedique a la construcción de obras hidráulicas.

El problema ferroviario en los Estados Unidos de la América del Norte.

La explotación de los ferrocarriles norteamericanos se halla confiada antes de la guerra a diversas Compañías, que habían obtenido las concesiones de sus líneas con carácter de perpetuidad, sin grandes restricciones con respecto a sus servicios y a su tarificación, correspondiendo a los Estados respectivos y no al Consejo federal, tanto las concesiones de las líneas, como la ligera intervención que en su explotación se habían atribuido dichos Estados, con modalidades variables de uno a otro.

Durante el primer período de la construcción de ferrocarriles americanos, que se desarrolló en aquel país con una intensidad de que no tenemos ejemplo en Europa, se construyeron muchísimas líneas paralelas entre sí varias de ellas, y muy desarticuladas, por lo que toca a sus enlaces, para constituir verdaderas redes, que pudieran servir provechosamente los intereses generales de cada región de por sí, y en relación con las contiguas.

A la primera época de ruda competencia entre las diversas Compañías, seguida como es natural de no pocos desastres financieros, sucedió la de acuerdos o fusiones (*consolidation*) entre las Compañías rivales, hasta que los Poderes públicos, temerosos de las consecuencias de los monopolios que en materia de transportes podían surgir y surgieron, adoptaron medidas legislativas contra las referidas fusiones o acuerdos, que se hicieron desde entonces muy difíciles.

Más tarde el Gobierno federal, que de momento se había desentendido de todo lo relativo a la organización de las explotaciones ferroviarias, creó un Consejo denominado Inter-State Commerce-Commission con el fin de intervenir más directa e intensamente en todas las cuestiones relativas al tráfico y a los servicios ferroviarios.

Este régimen de concesiones perpetuas, de redes mal articuladas, y de legislación vaga y confusa, en que no se deslindaban claramente las atribuciones respectivas de los Estados y del Gobierno federal, era el vigente al declararse en 1917 por los Estados Unidos de la América del Norte la guerra a los Imperios Centrales.

Para remediar las dificultades de transporte provocadas por la guerra mundial, o, mejor dicho, por la enorme intensificación que ésta ocasionó en la producción y exportación americana, dificultades agudizadas y acrecentadas por la participación de los Estados Unidos en la guerra, acordó el Gobierno de dicho país la incautación de toda su red ferroviaria, que alcanza un desarrollo de 300.000 kilómetros en su conjunto, para explotarla por su cuenta, mediante el abono a las diversas Compañías, de cantidades equivalentes a los productos líquidos obtenidos por aquéllas durante cierto número de años anteriores a la guerra.

La gestión del Estado en la explotación de los ferrocarriles americanos se ha caracterizado por un enorme aumento en los gastos de explotación, motivado por el encarecimiento de todas las primeras materias ocasionado por la guerra, y por elevaciones considerables en los salarios del personal, consentidas para evitar conflictos sociales.

A pesar del desarrollo considerable del tráfico, y de los aumentos no pequeños introducidos en las tarifas de percepción, no han alcanzado los ingresos de la red americana explotada por el Estado, la cuantía necesaria para compensar los aumentos de gastos antes indicados, produciéndose déficits cada vez más elevados en los balances del referido servicio, déficit que para el ejercicio de 1919 se estima alzadamente en 700 millones de dólares, equivalentes a 3.500 millones de pesetas.

Al cesar la guerra europea, y la actuación en la misma de los Estados Unidos de la América del Norte, planteóse en aquel país el problema del nuevo régimen a que debían quedar sometidos sus ferrocarriles, coincidiendo todas las opiniones en el carácter transitorio y circunstancias que debía darse a las disposiciones adoptadas en 1917, ante los apremios de la guerra.

Tres tendencias se mostraron desde luego con tal motivo, a saber: la de dar carácter definitivo a la *estatificación* de los ferrocarriles americanos, confiando resueltamente su explotación al Gobierno federal; la de devolver las líneas a las Compañías respectivas con ciertas condiciones, y la de mantener durante un período de tres o cinco años el *statu quo* creado por la guerra,